

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ - UFPR  
CURSO DE MESTRADO EM GEOLOGIA AMBIENTAL  
SETOR DE CIÊNCIAS DA TERRA  
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA**

**GIL FERNANDO BUENO POLIDORO**

**KARST NA BACIA DO ALTO IGUAÇU, REGIÃO METROPOLITANA DE CURITIBA:  
ASPECTOS GEOLÓGICOS PARA A GESTÃO DA OCUPAÇÃO DO SOLO E DO USO  
DO AQUÍFERO NA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PACATUBA EM  
ALMIRANTE TAMANDARÉ-PR.**

Dissertação apresentada como requisito parcial a  
obtenção do grau de Mestre em Geologia Ambiental,  
Departamento de Geologia, Setor de Ciências da  
Terra, da Universidade Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Luiz Eduardo Mantovani

CURITIBA  
2005

**GIL FERNANDO BUENO POLIDORO**

**KARST NA BACIA DO ALTO IGUAÇU, REGIÃO METROPOLITANA DE CURITIBA:  
ASPECTOS GEOLÓGICOS PARA A GESTÃO DA OCUPAÇÃO DO SOLO E DO USO  
DO AQUÍFERO NA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PACATUBA EM  
ALMIRANTE TAMANDARÉ-PR.**

Dissertação apresentada como requisito parcial a  
obtenção do grau de Mestre em Geologia Ambiental,  
Departamento de Geologia, Setor de Ciências da  
Terra, da Universidade Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Luiz Eduardo Mantovani

CURITIBA  
2005

**GIL FERNANDO BUENO POLIDORO**

**KARST NA BACIA DO ALTO IGUAÇU, REGIÃO METROPOLITANA DE CURITIBA:  
ASPECTOS GEOLÓGICOS PARA A GESTÃO DA OCUPAÇÃO DO SOLO E DO USO  
DO AQUÍFERO NA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PACATUBA EM  
ALMIRANTE TAMANDARÉ-PR.**

Trabalho de Conclusão de Curso Aprovado como requisito para obtenção do grau de Mestrado em Geologia Ambiental, Departamento de Geologia, Setor de Ciências da Terra, da Universidade Federal do Paraná, pela Banca examinadora formada pelos professores:

Orientador: \_\_\_\_\_  
Professor Dr. Luiz Eduardo Mantovani

\_\_\_\_\_  
Professor 1º Membro da Banca

\_\_\_\_\_  
Professor 2º Membro da Banca

Curitiba, \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ de 2005

Dedico este trabalho à memória de meu pai, Amantino Bueno Polidoro, nascido na cabeceira do Rio Pacatuba, com quem aprendi os princípios fundamentais de respeito ao meio ambiente.

## **AGRADECIMENTOS**

Registro meus agradecimentos a todos os amigos que colaboraram, direta ou indiretamente, para com a realização deste trabalho, especialmente ao Professor Dr. Luiz Eduardo Mantovani por acreditar na proposta e por aguardar pacientemente os seus resultados, aos meus amigos Geólogo José Roberto de Góis e Geóloga Fernanda Prendin Ochica por disponibilizarem o apoio necessário a sua construção, a Eliane Stroparo e, principalmente, a minha mulher, Geóloga Marcia Cristina Lima, por sua cumplicidade e extremo companheirismo.

*Terra, planeta água....*  
*Guilherme Arantes*

## SUMÁRIO

<b>DEDICATÓRIA</b>	<b>2</b>
<b>AGRADECIMENTOS</b>	<b>3</b>
<b>EPÍGRAFE</b>	<b>4</b>
<b>SUMÁRIO</b>	<b>6</b>
<b>LISTA DE FIGURAS</b>	<b>8</b>
<b>LISTA DE TABELAS</b>	<b>10</b>
<b>LISTA DE MAPAS</b>	<b>11</b>
<b>RESUMO</b>	<b>12</b>
<b>1 INTRODUÇÃO</b>	<b>14</b>
<b>2 OBJETIVOS DOS ESTUDOS</b>	<b>15</b>
2.1 OBJETIVO GERAL	15
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	15
2.3 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA ESTUDADA	16
<b>3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b>	<b>17</b>
3.1 CONSIDERAÇÕES GERAIS SOBRE O KARST	17
3.1.1 <i>Origem do Termo e Características</i>	17
3.1.2 <i>Formas Cársticas</i>	18
3.1.3 <i>Aspectos Hidrogeológicos</i>	19
3.1.4 <i>Aspectos Geotécnicos</i>	24
3.2 BREVES CONSIDERAÇÕES SOBRE PLANEJAMENTO URBANO E TERRITORIAL	26
3.2.1 <i>Condicionantes Físicas e Territoriais</i>	26
3.2.2 <i>Processos de Gestão</i>	28
<b>4 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO</b>	<b>30</b>
4.1 MEIO FÍSICO	30
4.1.1 <i>Geologia</i>	30
4.1.2 <i>Geomorfologia</i>	37
4.1.3 <i>Materiais Inconsolidados</i>	38
4.1.4 <i>Clima</i>	40
4.1.5 <i>Hidrografia e Hidrologia</i>	42
4.1.6 <i>Hidrogeologia</i>	46
4.1.7 <i>Geotecnia</i>	50
4.2 MEIO BIOLÓGICO	52
4.2.1 <i>Cobertura Vegetal</i>	52
4.3 MEIO ANTRÓPICO	54
4.3.1 <i>Histórico da RMC</i>	54
4.3.2 <i>Evolução da Ocupação Urbana e Territorial</i>	55
4.3.3 <i>Vetores e Tendências de Ocupação Urbana e Territorial na Região do Karst</i>	61
4.3.4 <i>Conflitos Instalados pela Ocupação Urbana e Territorial na Região do Karst</i>	65
<b>5 METODOLOGIA</b>	<b>68</b>
5.1 INTER-RELAÇÃO E PROCESSAMENTO DE INFORMAÇÕES	68
5.2 ESTABELECIMENTO DE ÁREA-ALVO	68

5.3	OBSERVAÇÕES DE CAMPO .....	72
5.4	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA-ALVO.....	81
5.4.1	<i>Análise da Fragilidade Geo-ambiental</i> .....	81
5.4.2	<i>Estabelecimento do Coeficiente de Fragilidade Geo-ambiental (FA)</i> .....	93
5.4.3	<i>Análise da Vulnerabilidade das Águas Subterrâneas</i> .....	97
6	<b>CRITÉRIOS PARA A OCUPAÇÃO DO SOLO E RECOMENDAÇÕES PARA O USO DA ÁGUA .....</b>	<b>103</b>
7	<b>PROPOSTA DE ZONEAMENTO DA OCUPAÇÃO DO SOLO E DE USO DA ÁGUA SUBTERRÂNEA .....</b>	<b>106</b>
8	<b>RECOMENDAÇÕES PARA A PROTEÇÃO DA ÁGUA SUBTERRÂNEA .....</b>	<b>109</b>
9	<b>CONCLUSÕES.....</b>	<b>114</b>
10	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>117</b>



## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1: LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO EM RELAÇÃO À RMC, PARANÁ E BRASIL .....	16
FIGURA 2: LINHAS DE EVOLUÇÃO DAS DOLINAS .....	18
FIGURA 3: COMPONENTES DO SISTEMA CÁRSTICO .....	19
FIGURA 4: MODELOS DE MANANCIAS CÁRSTICAS SURGENTES NO TALVEGUE. A: CIRCULAÇÃO LIVRE OU SOB PRESSÃO HIDROSTÁTICA; B: CIRCULAÇÃO SINFONANTE. MANANCIAS CONTROLADOS – 1- CONTROLADOS POR DIÁCLASES; 2 – CONTROLADOS POR PLANO DE FALHA; 3- CONTROLADOS POR CONTATO LITOLÓGICO. ....	21
FIGURA 5: ESQUEMA DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS NUMA REGIÃO CÁRSTICA, ONDE A: INFILTRAÇÃO, B: ROCHA PERMEÁVEL, C: SURGÊNCIA, D: ROCHA IMPERMEÁVEL E E: PRECIPITAÇÃO. ....	23
FIGURA 6: ÍNDICES DE TESTE DE CARGA PONTUAL, MEDIDOS EM TESTEMUNHOS DE SONDAGEM, COM DIFERENTES DIÂMETROS .....	24
FIGURA 7: COLUNA ESTRATIGRÁFICA SIMPLIFICADA .....	32
FIGURA 8: CONJUNTOS LITOLÓGICOS E BLOCOS ESTRUTURAIS DO GRUPO AÇUNGUI. ....	35
FIGURA 9: PRECIPITAÇÃO MENSAL P E EVAPOTRANSPIRAÇÃO REAL $ET_r$ PARA AS DIFERENTES CLASSES DE USO DO SOLO NA ÁREA DE COLOMBO-FERVIDA. ....	41
FIGURA 10: LOCALIZAÇÃO BACIAS HIDROGRÁFICAS DA RMC .....	42
FIGURA 11: LOCALIZAÇÃO DAS SUB-BACIAS DO RIO IGUAÇU E RIBEIRA .....	45
FIGURA 12: MAPA GEOLÓGICO DA REGIÃO A OESTE DE ALMIRANTE TAMANDARÉ EXIBINDO A COMPARTIMENTAÇÃO DOS METACALCÁRIOS DO AQUIFERO DO KARST (EM AZUL), LIMITADOS NO SENTIDO WSW-ENE PELOS FILITOS E QUARTZITOS DA FORMAÇÃO CAPIRU (EM CASTANHO CLARO), E NO SENTIDO SE-NW PELOS DIQUES DE DIABÁSIO OU MICRO-GABRO (EM VERDE ESCURO). ....	48
FIGURA 13: EVOLUÇÃO DA MANCHA URBANA DA RMC. ....	61
FIGURA 14: PRINCIPAIS TENDÊNCIAS URBANAS NO ADENSAMENTO E EXPANSÃO NA RMC. ....	62
FIGURA 15: CRESCIMENTO POPULACIONAL 1996 – 2000 .....	64
FIGURA 16: LOCALIZAÇÃO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PACATUBA .....	69
FIGURA 17: PEDREIRA DE ROCHA CALCÁRIA ABANDONADA. VISÍVEL AO CENTRO O CONE DE DETRITOS E A TORRE FORMADA À DIREITA. FEIÇÃO CARACTERÍSTICA DO RELEVO CÁRSTICO QUANDO O CALCÁRIO É AFLORANTE. PEDREIRA LOCALIZADA NA PORÇÃO SW DA ÁREA .....	72
FIGURA 18: VISTA GERAL DA BACIA DO RIO PACATUBA. NO PRIMEIRO PLANO OBSERVA-SE A TOPOGRAFIA PLANA, COM A PRESENÇA DOS CALCÁRIOS E UMA DOLINA COM ÁGUA (A). NESTES MESMOS TERRENOS A PRÁTICA DA AGRICULTURA É USUAL. À DIREITA, AS PARTES MAIS ELEVADAS DO TERRENO CORRESPONDEM ÀS ROCHAS FILÍTICAS E QUARTZITOS FORMANDO AS CRISTAS (B). NO SENTIDO DIAGONAL É VISÍVEL UM DIQUE DE DIABÁSIO QUE, NO CALCÁRIO FORMA UM RELEVO ELEVADO (C) E NOS FILITOS UM VALE (D). ....	75
FIGURA 19: MODELO DIGITAL DA BACIA DO RIO PACATUBA .....	77
FIGURA 20: ÁREA AGRÍCOLA NAS PARTES MAIS PLANAS – ROCHAS CALCÁRIAS, COLÔNIA PACATUBA .....	78
FIGURA 21: PLANTAÇÃO DE FEIJÃO NA MEIA ENCOSTA. AO FUNDO REFLORESTAMENTO COM BRACATINGA, COLÔNIA PACATUBA – PROPRIEDADE SR. PUPA .....	78
FIGURA 22: RODOVIA DOS MINÉRIOS, ALTURA DO KM 19, ATIVIDADES CONFLITANTES COM A REGIÃO DE KARST. AO FUNDO UMAS DAS PRINCIPAIS ATIVIDADES ECONÔMICAS – PRODUÇÃO DE CAL .....	80
FIGURA 23: PORTAL DO INÍCIO DO CIRCUITO DA NATUREZA, ESTRADA DO MARMELEIRO, ÀS MARGENS DA RODOVIA DOS MINÉRIOS. AO LADO DIREITO, QUEIMA DO CALCÁRIO E PRODUÇÃO DE LAJES PARA A CONSTRUÇÃO CIVIL .....	80
FIGURA 24: PROXIMIDADES DA NASCENTE DO RIO PACATUBA. CAPTAÇÃO DE ÁGUA DO RIO PACATUBA PARA ABASTECER O LAGO DO PESQUE PAGUE DO LUCIANINHO. ....	81
FIGURA 25: VISTA PARCIAL DO QUARTEIRÃO INTERDITADO PELO PODER PÚBLICO, PRÓXIMO À FOZ DO RIO PACATUBA, EM ALMIRANTE TAMANDARÉ-PR, POR APRESENTAR TERRENOS COM PROBLEMAS DE SUBSIDÊNCIA .....	83

FIGURA 26: DETALHE DAS RACHADURAS E AFUNDAMENTO DO PISO NAS EDIFICAÇÕES LOCALIZADAS NO QUARTEIRÃO INTERDITADO PELO PODER PÚBLICO, EM ALMIRANTE TAMANDARÉ – PR, DEVIDO À SUBSIDÊNCIA DO TERRENO .....	83
FIGURA 27: DETALHE INTERNO DO COMPROMETIMENTO DA ESTRUTURA DE EDIFICAÇÃO LOCALIZADA NO QUARTEIRÃO INTERDITADO PELO PODER PÚBLICO EM ALMIRANTE TAMANDARÉ-PR, DEVIDO À SUBSIDÊNCIA DO TERRENO .....	84
FIGURA 28: DETALHE EXTERNO INTERNO DO COMPROMETIMENTO DA ESTRUTURA DE EDIFICAÇÃO LOCALIZADA NO QUARTEIRÃO INTERDITADO PELO PODER PÚBLICO EM ALMIRANTE TAMANDARÉ-PR, DEVIDO À SUBSIDÊNCIA DO TERRENO.....	84
FIGURA 29: ESCOLA MUNICIPAL DE ENSINO ESPECIAL PROFESSORA NILZA DE OLIVEIRA, EM ALMIRANTE TAMANDARÉ – PR, SITUADA À RUA EMÍLIO JOHNSON, À MARGEM DIREITA DO RIO PACATUBA E JUNTO À SUA FOZ, INTERDITADA POR APRESENTAR RACHADURAS EM SUA EDIFICAÇÃO.	85
FIGURA 30: OCORRÊNCIA DE PEQUENAS DOLINAS, COM CERCA DE DOIS METROS DE DIÂMETRO, AO LADO DA ESCOLA MUNICIPAL DE ENSINO ESPECIAL NILZA DE OLIVEIRA EM ALMIRANTE TAMANDARÉ .....	85
FIGURA 31: FEIÇÕES CÁRSTICAS OCORRENTES NA BACIA DO RIO PACATUBA.....	89
FIGURA 32: PERCENTAGEM DA FRAGILIDADE AMBIENTAL DA BACIA DO RIO PACATUBA .....	95
FIGURA 33: PORÇÃO MÉDIA DO RIO PACATUBA, SITUADO SOBRE ROCHAS CALCÁRIAS. À ESQUERDA UMA CONSTRUÇÃO DESRESPEITANDO DIPLOMAS LEGAIS. O PROPRIETÁRIO RETIRA ÁGUA DO RIO MEDIANTE BOMBEAMENTO DIRETO.....	99
FIGURA 34: UMA DOLINA PREENCHIDA POR ÁGUA. À DIREITA DA FOTO, OCUPAÇÃO SITUADA AO LADO DO LAGO, COLÔNIA PACATUBA .....	99
FIGURA 35: OUTRA DOLINA PREENCHIDA POR ÁGUA, CERCADA DE VEGETAÇÃO, COLÔNIA PACATUBA	100
FIGURA 36: CROQUI DE LOCALIZAÇÃO DO LEITO ORIGINAL DO RIO PACATUBA .....	100
FIGURA 37: DETALHE DA AUSÊNCIA DE MANUTENÇÃO DOS DRENOS INSTALADOS SOB A AV. EMÍLIO JOHNSON, ALMIRANTE TAMANDARÉ-PR, LEITO RETIFICADO DO RIO PACATUBA. ....	101

## LISTA DE TABELAS

TABELA 1: VAZÕES CARACTERÍSTICAS DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS ALTO IGUAÇU E ALTO RIBEIRA.	43
TABELA 2: PROJEÇÃO DE DEMANDAS DE ÁGUA NA RMC .....	44
TABELA 3: DISTRIBUIÇÃO ÁREA DAS CÉLULAS .....	49
TABELA 4: CARACTERÍSTICAS GEOTÉCNICAS REGIONAIS. ....	52
TABELA 5: POPULAÇÃO E TAXA DE CRESCIMENTO DOS MUNICÍPIOS LINDEIROS A CURITIBA DA REGIÃO DO KARST/RMC. ....	63
TABELA 6: MATRIZ INFLUÊNCIA DE CONFLITOS NA ÁREA DO KARST .....	67
TABELA 7: IQA DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO BARIGUI – ESTAÇÃO A 157 - BOICHINIGA .....	70
TABELA 8: DADOS ÍNDICES DE QUALIDADE DA ÁGUA – ESTAÇÃO BOICHININGA/RIO BARIGUI .....	71
TABELA 9: FATOR AMBIENTAL GEOLOGIA - I .....	88
TABELA 10: FATOR AMBIENTAL GEOMORFOLOGIA - II .....	89
TABELA 11: FATOR AMBIENTAL MATERIAIS INCONSOLIDADOS - III .....	91
TABELA 12: FATOR AMBIENTAL USO E OCUPAÇÃO DO SOLO CONJUGADO COM A LITOLOGIA – IV. ....	92
TABELA 13: CLASSES DE FRAGILIDADE GEO-AMBIENTAL .....	93
TABELA 14: VALORES E ATRIBUTOS DO MÉTODO GOD .....	97
TABELA 15: CRITÉRIOS PARA A OCUPAÇÃO DO SOLO E RECOMENDAÇÕES PARA O USO DA ÁGUA .....	105
TABELA 16: ZONEAMENTO DA OCUPAÇÃO DO SOLO E DO USO DA ÁGUA SUBTERRÂNEA. ....	107
TABELA 17: ANÁLISES DOS PRINCIPAIS PARÂMETROS QUÍMICOS E pH, CORRESPONDENTES AOS POÇOS PERFURADOS PARA A SANEPAR, EM ALMIRANTE TAMANDARÉ. OS PARÂMETROS QUÍMICOS ESTÃO EXPRESSOS EM MG/L. ....	110
TABELA 18: ANÁLISES BACTERIOLÓGICAS DE ÁGUAS DE POÇOS TUBULARES DA SANEPAR EM ALMIRANTE TAMANDARÉ. AS ANÁLISES FORAM REALIZADAS NOS LABORATÓRIOS DA SANEPAR .....	111

## LISTA DE MAPAS

MAPA 1: GEOLOGIA E HIDROGEOLOGIA.....	74
MAPA 2: COMPARTIMENTAÇÃO GEOMORFOLÓGICA.....	76
MAPA 3: USO E OCUPAÇÃO DO SOLO .....	79
MAPA 4: MATERIAIS INCONSOLIDADOS .....	82
MAPA 5: FRAGILIDADE AMBIENTAL.....	96
MAPA 6: VULNERABILIDADE DOS AQUIFEROS SUBTERRÂNEOS .....	102
MAPA 7: ZONEAMENTO DA OCUPAÇÃO DO SOLO E DO USO DO AQUIFERO SUBTERRÂNEO.....	108

## **RESUMO**

Este trabalho aborda o Karst na Bacia do Alto Iguaçu na Região Metropolitana de Curitiba quanto aos aspectos geológicos para a gestão da ocupação do solo e do uso do aquífero a partir da escolha de uma área alvo – Sub-Bacia Hidrográfica do Rio Pacatuba e das inter-relações e interdependências de sua Fragilidade Geo-Ambiental e Vulnerabilidade do Aquífero, principalmente diante de atividades humanas instaladas sobre áreas de rochas carbonatadas da Formação Capiuru do Grupo Açungui – Proterozóico Superior do Paraná. Esta expansão da ocupação decorre do processo do extravasamento urbano de Curitiba e da conurbação com seus municípios vizinhos e destes entre si, sendo que o presente estudo estabelece critérios de ocupação do solo e recomendações capazes de subsidiar a sua gestão ambiental.

Palavras chave: karst, fragilidade, vulnerabilidade, zoneamento.

## 1 INTRODUÇÃO

A ocupação do território da Região Metropolitana de Curitiba - RMC deu-se, inicialmente, sobre unidades geológicas correspondentes à Bacia Sedimentar de Curitiba e sedimentos aluvionares da Bacia Hidrográfica do Alto Iguaçu.

Com o passar dos 312 anos da Capital do estado, Curitiba extravasou-se, conurbando-se a seus municípios vizinhos formando um núcleo urbano central densamente ocupado.

A ausência de uma infra-estrutura adequada de saneamento que acompanhasse tamanho crescimento fez com que determinados recursos hídricos de superfície, dada a sua carga poluidora, fossem comprometidos para fins de abastecimento público – rios Barigui, Atuba e Palmital, obrigando a Companhia de Saneamento do Paraná S/A – SANEPAR a ir buscar o recurso em bacias hidrográficas cada vez mais distantes, a custos mais elevados.

De acordo com o Plano de Desenvolvimento Integrado da Região Metropolitana de Curitiba – PDI/RMC (2001, p 86), a região por situar-se na cabeceira de duas importantes bacias hidrográficas (Iguaçu e Ribeira) e, em que pese seu balanço hídrico superavitário e disponibilidade hídrica, requer represamentos de seus cursos d'água para atendimento da demanda de abastecimento, estimada em 7 m<sup>3</sup>/s, onerando assim o território metropolitano em termos de uso e ocupação do solo mais intensos.

O processo de extravasamento de Curitiba e a constituição do núcleo urbano central da RMC aproveitaram-se de vetores históricos de ocupação e avançaram por sobre os litotipos da Formação Capiuru do Grupo Açungui, particularmente por sobre as suas rochas carbonatadas.

Ao mesmo tempo, tanto o Poder Público como a iniciativa privada, buscavam uma alternativa de abastecimento justamente nas águas subterrâneas que circulam nestas rochas carbonatadas. Até o presente, esta alternativa vem, por ambos, sendo muito utilizada.

Porém, tendo em vista a fragilidade geotécnica desses terrenos, a presença de atividades primárias (mineração e agricultura) desenvolvidas centenariamente sobre os

mesmos, acabou por desencadear sérios conflitos e impactos ambientais amplificados com a chegada da urbanização e com a exploração do aquífero subterrâneo, especialmente nas porções mais aplainadas do relevo os quais correspondem muitas vezes a feições carstificadas do modelado a partir da dissolução e da erosão da rocha calcária.

Tais conflitos e impactos vão desde a subsidência e o abatimento de terrenos (que por sua vez abalam estruturas das edificações), passam pela contaminação de rios e águas sub-superficiais, chegando às vezes ao secamento de fontes tendo em vista os usos destes recursos hídricos.

Portanto, diante do cenário atual a situação requer informações adequadas bem como modelos de planejamento e gestão ambiental que possam levar a uma administração sustentável da ocupação do solo e do uso do manancial subterrâneo capazes de projetar um novo cenário que assegure a manutenção da estabilidade do meio e a qualidade hídrica da região.

## **2 OBJETIVOS DOS ESTUDOS**

### **2.1 OBJETIVO GERAL**

- Estabelecer critérios de ocupação do solo de forma a subsidiar a gestão ambiental da região do karst na Bacia do Alto Iguaçu, entendendo-se como a região coincidente com a Formação Capiru – Grupo Açungui para fins deste trabalho, a partir de seus aspectos geológicos e atributos do seu meio físico.

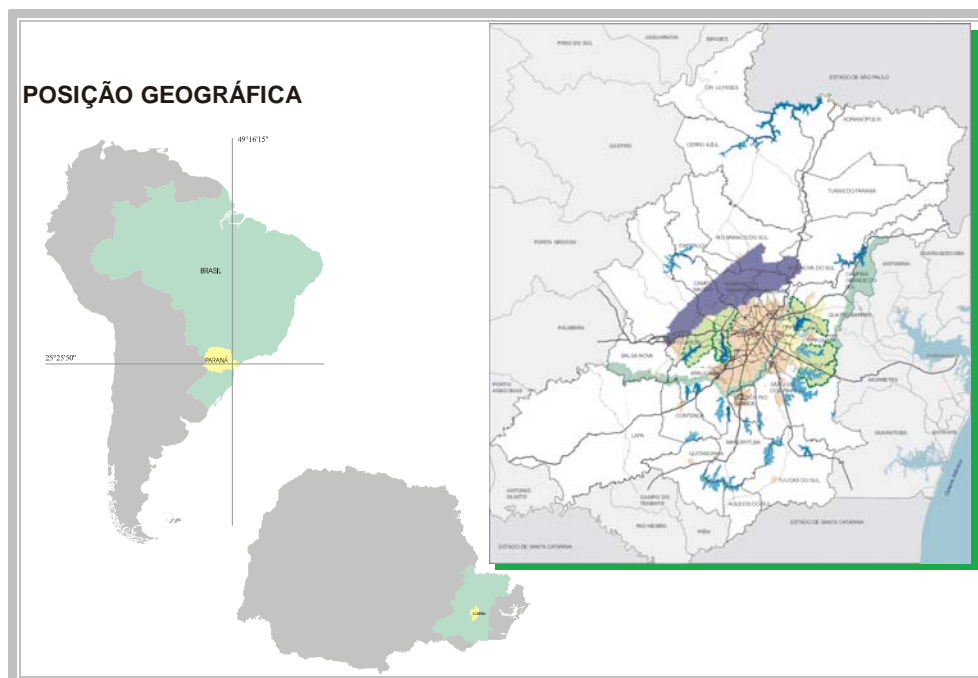
### **2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Estabelecer recomendações a serem incorporadas ao processo de planejamento territorial da RMC.
- Recomendar ações para solução ou minimização dos conflitos e impactos instalados, dada a fragilidade ambiental da região do karst na Bacia do Alto Iguaçu.

- Recomendar ações para a preservação e o aproveitamento adequado da água subterrânea.

### 2.3 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA ESTUDADA

A área em questão corresponde à Formação Capiru do Grupo Açungui, localizada ao norte da Região Metropolitana de Curitiba, compreendendo uma área de aproximadamente 1.000 km<sup>2</sup>, disposta longitudinalmente em SW-NE entre as longitudes 49° 00' 00" e 49° 30' 00" oeste e latitudes de 25° 05' 00" e 25° 25' 00" sul (FIGURA 01).



**FIGURA 1:** LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO EM RELAÇÃO À RMC, PARANÁ E BRASIL

Fonte: POLIDORO, 2005

Área de estudo

Assentados sobre os litotipos da Formação Capiru encontram-se diversos municípios e suas respectivas sedes urbanas, os quais compõem o núcleo urbano central da RMC, zona de ocupação densa que representa a conurbação do município pólo – Curitiba com seus vizinhos e destes entre si, a partir do extravasamento dos limites da capital.



### 3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

#### 3.1 CONSIDERAÇÕES GERAIS SOBRE O KARST

##### 3.1.1 Origem do Termo e Características

Segundo Lisboa (1997, p 28), o emprego científico do termo Karst teve como origem a península de Istria nos Balcãs, região ao norte do Mar Adriático, junto à cidade de Rejka, para definir a morfologia dos campos de pedra das formações calcárias, em fins do século XIX.

Nos tempos atuais, além do enfoque morfológico, tem se dado também um enfoque hidrogeológico para o termo karst. Desta forma, áreas cuja topografia encontra-se rebaixada por dissolução das rochas carbonatadas, com predominância de drenagens verticais e subterrâneas, as quais perseguem linhas estruturais, com pouca drenagem de superfície e cujo maciço rochoso é aflorante e a paisagem apresenta-se ruiforme e/ou esburacada, têm sido denominadas de zonas carstificadas. (OLIVEIRA, 1997 apud LIMA, 2004, p 5)<sup>1</sup>.

Feitosa e Manoel Filho<sup>2</sup> (2000 apud LIMA, 2004, p 5), definem uma zona carstificada quando a mesma apresenta determinadas características, tais como extensas áreas sem fluxos de águas superficiais ou com pequeno escoamento superficial, ocorrências de significativas depressões, drenagem subterrânea, existência de cavidades em subsolo por onde circulam correntes subterrâneas e uma certa complexidade desta circulação tanto nas zonas saturadas como acima da superfície potenciométrica do aquífero.

Por outro lado, Piló (2000, p 91) afirma que a paisagem cárstica é um reflexo do processo de dissolução sobre as características petrográficas da rocha, onde a porosidade da mesma pode ser construída primariamente durante a sua diagênese, a chamada porosidade intergranular, ou ainda, secundariamente através das suas descontinuidades físicas – falhas, fraturas, juntas, acamamentos.

Segundo o autor supracitado, planos de acamamentos em conjunto com estruturas pouco deslocadas e ligadas às forças tensionais e de cisalhamento do maciço

---

<sup>1</sup> OLIVEIRA, Luis Marcelo. A gestão de riscos geológicos urbanos em áreas de Carste. Monografia apresentada no Curso de Especialização em Gestão Técnica do Meio Ambiente – GTU/PUC. Curitiba, 1997. 46pp.

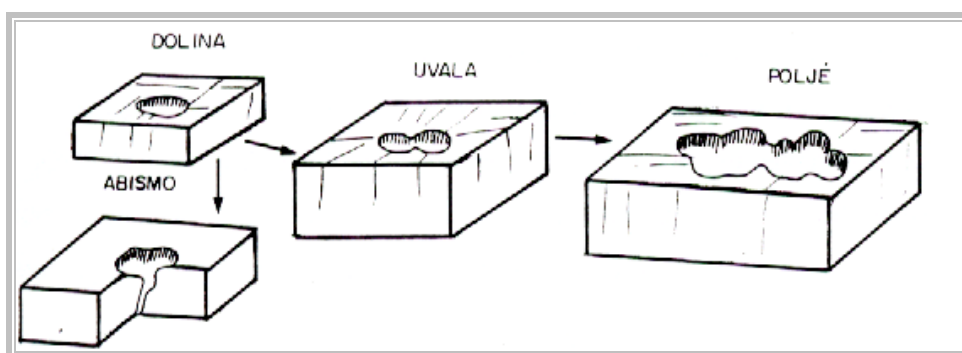
<sup>2</sup> FEITOSA, A. C. F. FILHO, J. M. Hidrogeologia. Conceitos e Aplicações. 2ª edição. CPRM. Fortaleza, 2000. 391pp.

rochoso são muito importantes para a construção da paisagem cárstica que, associados a fatores climáticos favoráveis (precipitações pluviométricas), acabam por constituir variadas e complexas organizações hidrogeológicas.

O fator clima já era apontado por vários autores como condicionante a carstificação, pois enquanto existir circulação hídrica a partir da precipitação pluviométrica ocorrerá a dissolução da rocha carbonática.

### 3.1.2 Formas Cársticas

A paisagem cárstica é composta por determinadas formas típicas denominadas de dolinas, além de uvalas, poljes e sumidouros (FIGURA 02) que evoluem a partir da primeira (BIGARELLA et al., 1994, p 265).



**FIGURA 2:** LINHAS DE EVOLUÇÃO DAS DOLINAS

**FONTE:** BIGARELLA ET AL, 1994.

Cvijic<sup>3</sup> (1983, apud PILÓ, 2000, p 91) define como dolinas as depressões fechadas elípticas ou circulares, de poucos metros a centenas de metros de diâmetro e profundidade, que se formam na superfície em função da dissolução subsuperficial das rochas.

Já as uvalas, segundo White<sup>4</sup> (1988, apud PILÓ, 2000, p 92) ocorrem quando diversas dolinas crescem e se agrupam, sendo que a drenagem superficial, nestes casos, apresenta segmentos subsuperficiais podendo gerar outras dolinas junto às mesmas.

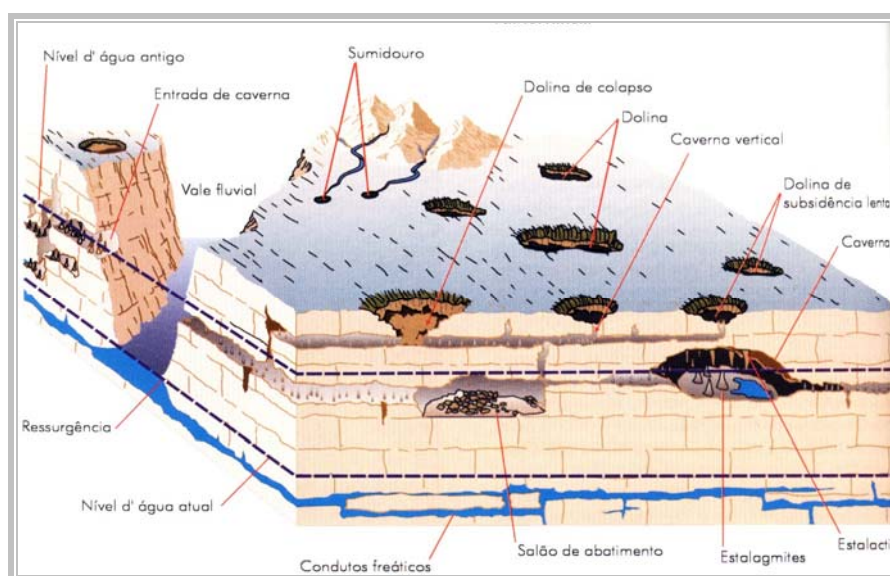
<sup>3</sup> CVIJIC, J. *The Dolines*. In: SWEETING, M.M. (ed) *Karst Geomorphology* Hutchinson Ross Publishing Company: Benchmark Papers in Geology / 59, 1983, p. 19-37

<sup>4</sup> WHITE, W.B. *Geomorphology and Hidrology of karst terrains*. Oxford: Oxford University Press. 1988. 464pp.

Quanto aos poljes, Lladó<sup>5</sup> (1970, apud COMEC, 2002, p 6-9) define-os como estruturas com formas fechadas onde há lenta absorção da água precipitada. Piló (2000, p 93) por sua vez, afirma que correspondem a largas depressões fechadas que podem chegar a dezenas de quilômetros de extensão, com fundo rochoso ou recoberto e paredes abruptas.

Os sumidouros de acordo com Lladó (1970, apud COMEC, 2002, p 6-9) são áreas abruptas em superfície que permitem a rápida infiltração da água precipitada para o sub-solo.

Por fim, para Teixeira et al. (2001, p 426) o sistema cárstico se constitui de 03 (três) principais componentes que se desenvolvem conjuntamente e de forma interdependente; sistema de cavernas, aquíferos de condutos e relevo cárstico (FIGURA 03).



**FIGURA 3: COMPONENTES DO SISTEMA CÁRSTICO**

*FONTE: IN TEIXEIRA ET AL (2001).*

### 3.1.3 Aspectos Hidrogeológicos

De acordo com Christofolletti (1980, p 157) a hidrogeologia cárstica caracteriza-se pela pouca drenagem superficial, sendo que a circulação se dá internamente ao maciço por meio de pontos de absorção (fissuras, dolinas, etc). Em pontos diferentes, independentemente dos percursos das águas superficiais, as águas ressurgem ou

<sup>5</sup> LLADÓ, N.I. Fundamentos de Hidrogeología Carstica (Introducción a la Geoespeleología). Madrid: Editorial Blume, 1970.

afloram na forma de fontes ou surgências. O percurso interior das águas ocorre através de condutos subterrâneos seguindo as linhas de fraqueza da rocha até atingir canais mais desenvolvidos.

Esta circulação de água tende a se aprofundar, abandonando percursos superiores. Ao contrário também pode acontecer, quando há maior fluxo interno. Ou seja, o caminho da circulação hídrica subterrânea é dependente da quantidade de água infiltrada em relação aos débitos relativos a ressurgências, regulando assim os seus níveis internos (CHRISTOFOLETTI, 1980, p 157).

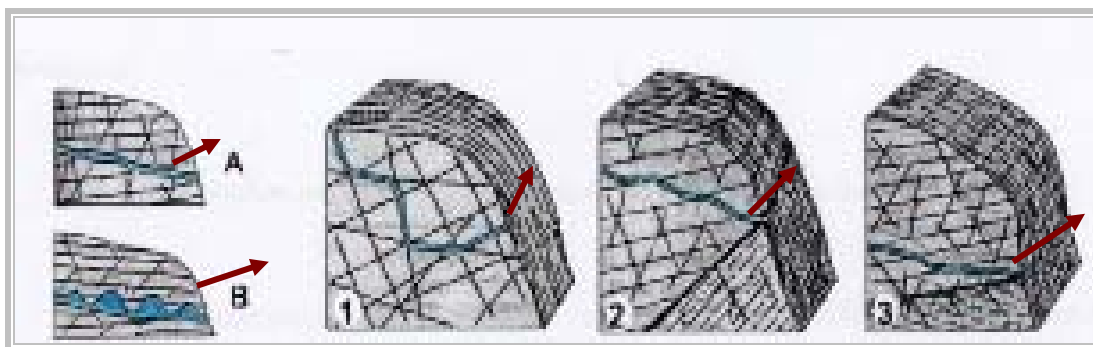
A evolução das formas subterrâneas de condução ocorre ao mesmo tempo das formas de captação superficial, que se inicia já na infiltração da água. Com o passar do tempo os condutos alargam-se até que o caudal não preenche completamente a seção, iniciando-se o processo de circulação livre.

A relação entre os vazios ou aberturas de um maciço rochoso e o seu volume total definem a porosidade deste meio, que pode ser expressa porcentualmente. Em rochas carbonatadas, dada a circulação hídrica subterrânea e a construção de dutos internos, esta porosidade pode chegar a 20%, em se somando a porosidade primária com a secundária (HEATH, 1983, p. 7).

A circulação nos dutos passa a ser forçada sob pressão hidrostática resultando em surgências. A presença de surgências define duas zonas hídricas. Uma situada acima do manancial, chamada de hidrodinâmica e outra abaixo, referida como hidrostática (BIGARELLA, et al, 1994, p 265).

Segundo os mesmos autores, os mananciais cársticos surgentes aproveitam-se de dutos constituídos em estruturas importantes tais como falhas, eixos de dobras e fraturas (FIGURA 04).

Neste contexto, Heath (1983, p 9) considera que o rendimento específico e a retenção específica em rochas carbonatadas são muito díspares. O rendimento específico expressa quanta água está disponível no maciço enquanto que a retenção expressa quanta água é retida na rocha após ser drenada por gravidade. De acordo com o autor o rendimento para os carbonatos é da ordem de 18% enquanto que a retenção estaria próxima a 2% (valores em porcentagem de volume).



**FIGURA 4:** MODELOS DE MANANCIAIS CÁRSTICOS SURGENTES NO TALVEGUE. **A:** CIRCULAÇÃO LIVRE OU SOB PRESSÃO HIDROSTÁTICA; **B:** CIRCULAÇÃO SINFONANTE. MANANCIAIS CONTROLADOS – **1-** CONTROLADOS POR DIÁCLASES; **2** – CONTROLADOS POR PLANO DE FALHA; **3-** CONTROLADOS POR CONTATO LITOLÓGICO.

**FONTE:** BIGARELLA ET AL, 1994.

A retenção e o rendimento em aquíferos cársticos estão diretamente relacionados à pluviosidade local e porosidade da rocha (primária e secundária) que de certa forma determinam também seus gradientes, transmissividades e condutividades hidráulicas.

Desta forma, a evolução dos condutos cársticos se dá muito mais rapidamente do que a evolução das formas de captação da pluviosidade, o que faz com que as formações calcárias sejam totalmente erodidas com o passar do tempo geológico, finalizando o ciclo cárstico quando rochas sotopostas são expostas.

Para a SANEPAR (2002, p 48), o funcionamento do sistema hidrológico cárstico depende diretamente de elementos fisioclimáticos, os quais controlam a entrada do sistema. O clima e a temperatura condicionam o desenvolvimento dos fenômenos cársticos, pois enquanto existir circulação hídrica, ocorrerá a dissolução da rocha carbonática e será maior ou menor conforme for a variação da temperatura.

Lladó<sup>6</sup> (1970, apud SANEPAR, 2002, p 49), afirma que

*a temperatura é o fator físico controlador da solubilidade do CO<sub>2</sub>, sendo que a quantidade de CO<sub>2</sub> está na razão inversa da temperatura. Logo, a água fria dissolve mais CO<sub>2</sub> que a água quente, e quanto maior a quantidade de CO<sub>2</sub> dissolvida, maior será a acidez e o poder dissolvente da água. Por outro lado, o aumento da temperatura eleva a solubilidade do bicarbonato de cálcio, que é o produto dissolvido e transportado pela água. Portanto, os fenômenos de dissolução e desenvolvimento do processo de carstificação nos climas quentes são tão ativos quanto nos climas frios.*

<sup>6</sup> LLADÓ, N.L. Fundamentos de Hidrogeología Cárstica (introducción a la geoespeleologia). Madrid: Editorial Blume. 1970

Christofolletti (1980, p 157) afirma que em regiões úmidas o processo de carstificação é mais rápido que nas regiões secas, desde que mantidos os demais fatores, contudo não pode afirmar que o mesmo ocorre de forma mais rápida em regiões tropicais do que nas regiões frias.

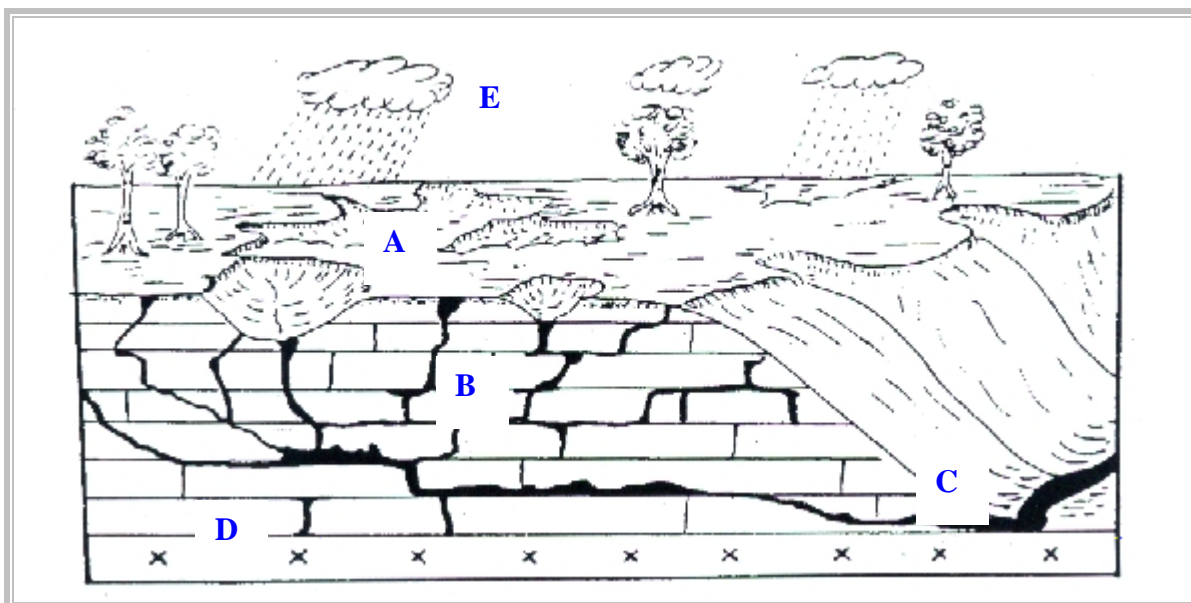
Para Bigarella et al (1994, p 265), a carstificação é mais intensa nos trópicos do que nas regiões temperadas, face temperaturas e precipitações maiores, ou seja, maior quantidade de água para atuar nos processos de dissolução da rocha carbonática e na erosão mecânica. As águas tropicais apresentam maior acidez, devido à presença de ácidos de origem orgânica e do CO<sub>2</sub> produzidos pela intensa atividade bioquímica nos solos (FIGURA 05).

Em regiões tropicais, Freeze e Cherry<sup>7</sup> (1979, apud LIMA, 2004, p 18) afirmam que, devido à alternância de estações secas e úmidas e a precipitação elevada, o fenômeno de carbonatação<sup>8</sup> é intensificado, principalmente pela presença da cobertura vegetal que aumenta o teor de CO<sub>2</sub> no solo, mediante a formação da matéria orgânica e da respiração das raízes das plantas.

---

<sup>7</sup> FREEZE, R. A, CHERRY, J.A . Groundwater. New Jersey, Prentice-Hall. 1979. 604 pp.

<sup>8</sup> reação entre uma solução ácida e os minerais das rochas



**FIGURA 5:** ESQUEMA DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS NUMA REGIÃO CÁRSTICA, ONDE **A:** INFILTRAÇÃO, **B:** ROCHA PERMEÁVEL, **C:** SURGÊNCIA, **D:** ROCHA IMPERMEÁVEL E **E:** PRECIPITAÇÃO.  
**FONTE:** BIGARELLA, 1994

De acordo com os autores supra-citados, a água que se infiltra nos sistemas naturais de fluxo subterrâneo sofre uma forte influência do quimismo do solo. Pois este tem uma capacidade de fornecer quantidades de ácido e de consumir muito ou todo o oxigênio dissolvido disponível na água. O ácido mais importante produzido no solo é o  $\text{H}_2\text{CO}_3$ , derivado da reação do  $\text{CO}_2$  com a água. Outros ácidos orgânicos produzidos são os ácidos húmicos e os fúlvicos. Esses ácidos vão atuar diretamente no grau de acidez da água (pH) e, portanto, no seu poder de dissolução sobre as rochas carbonáticas.

Segundo Piló (2000, p 90) no início do desenvolvimento do karst subterrâneo (endocarste), o ácido sulfúrico ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) é o principal responsável, sendo sua presença explicada pela oxidação do  $\text{H}_2\text{S}$  ou mesmo de sulfetos, em especial a pirita, corroborado por Auler<sup>9</sup> (1999, apud PILÓ, p 90) que assegura claras evidências da participação do ácido sulfúrico no desenvolvimento de cavernas nos carbonatos do Grupo Una, na Bahia.

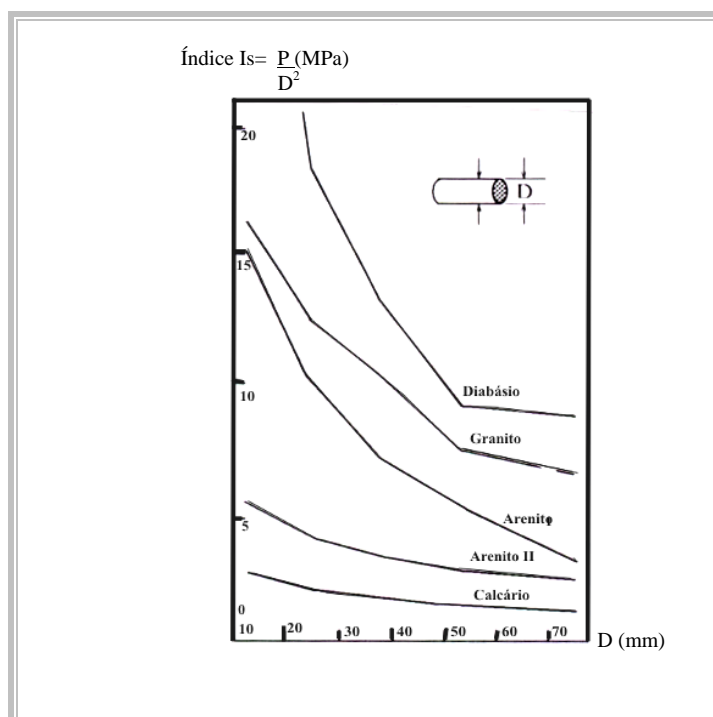
Quanto ao caráter livre ou confinado do aquífero, vai depender do seu posicionamento físico em relação às seqüências impermeáveis.

<sup>9</sup> AULER, A. Karst evolution and palaeoclimate of eastern Brazil. Bristol: Faculty of Science – University of Bristol. 269p. (Thesis).

### 3.1.4 Aspectos Geotécnicos

Geotecnicamente, as rochas carbonatadas ou calcárias, apresentam um comportamento peculiar e também diretamente relacionado à trama estrutural, solubilidade e geo-ambiente (cobertura edáfica, clima, etc).

Testes pontuais (*Point Load Test*) em fragmentos de rochas submetidos a cargas até o seu rompimento indicam que, em média, tais rochas apresentam índices menores do que 5 Mpa, segundo Broch e Franklin <sup>10</sup>, (1972 apud FIORI E CARMIGNANI, 2001, p 408) – FIGURA 06. O índice pontual de carga  $I_s$  é obtido pela relação da carga necessária para a ruptura (P) em Kgf e a distância (D) em mm entre as pontas dos cones que exercem a carga sobre a amostra.



**FIGURA 6:** ÍNDICES DE TESTE DE CARGA PONTUAL, MEDIDOS EM TESTEMUNHOS DE SONDAGEM, COM DIFERENTES DIÂMETROS  
**FONTE:** BROCH E FRANKLIN, APUD FIORI E CARMIGNANI, 2001, p. 408.

A baixa resistência somada a processos de solubilização da rocha provocados pelas condições de aporte de água, principalmente em condições de grande disponibilidade de  $CO_2$ , especialmente com circulação em zonas de descontinuidade física do substrato, impõe deformações ou deslocamentos essencialmente

<sup>10</sup> BROCH, E.; FRANKLIN, J.A. *The Point-Load Strength Test*. Intl. Rock Mech. Min. Sci & Geomec. Abstr. V 9, p. 669-697, 1972



verticalizados e descendentes (subsidiências e colapsos) em função dos vazios gerados subsuperficialmente – carstificação (INFANTI JR e FORNASARI FILHO, 1998, p 143).

Além das causas naturais, as subsidiências e colapsos podem ser muito acelerados pela ação antrópica em decorrência do bombeamento das águas subterrâneas e rebaixamentos do nível hidrostático ou recalques por acréscimos de peso devido a obras e estruturas.

Relevante aspecto a ser considerado na instabilização de terrenos cársticos é o preenchimento das aberturas do substrato, altamente afetado tectonicamente, por material alóctone ou autóctone – solos, aluviões, colúvios a base de argilas (ilitas, smectitas).

Além de provocar em muitas vezes a retenção de água nestas aberturas, criando situações de saturamento e peso, as mesmas se expandem consideravelmente criando também maior instabilidade ao meio (SANEPAR, 2002, p 160).

Nakazawa, Prandini e Diniz (1995, p 130) afirmam que dos dois processos ou fases de carstificação – inicial, de idade e duração não determinados e responsável pela formação das cavidades e o posterior, onde as cavidades se predispõem para a evolução dos fenômenos nos solos que a capeiam – é necessário especial interesse para o segundo, pois, quanto ao uso e ocupação do solo, é nesta fase em que as modificações mais sensíveis acontecem.

A água percolada, as suas variações de nível, pressão, velocidade de fluxo, aliadas à ação da gravidade formam o principal conjunto de deflagração e evolução das cavidades por colapso de rocha ou solo, com ação notável nos processos de migração descendente do solo para as cavidades em rocha, que se propaga no interior do solo, de baixo para cima, até a superfície, originando afundamentos bruscos (NAKAZAWA; PRANDINI; DINIZ, 1995, p 104).

Em depósitos espessos e saturados, abaixo do nível piezométrico, os autores supracitados afirmam que a água infiltrada não desempenha papel relevante na evolução das dolinas e colapsos, exceto no seu estágio final, quando a sua progressão ascendente ultrapassa o nível de água local.

Os mesmos autores citam ainda que vibrações a partir do uso de explosivos em pedreiras também podem exercer um papel de acelerador do processo, o que, para alguns, pode ser a causa do surgimento de dolinas a partir da ruptura do teto de cavernas. Beck (1984, p 9), por entender que tais vibrações não são suficientes para tanto, considera rara esta hipótese.

De acordo com Nakazawa, Prandini e Diniz (1995, p 127) os solos porosos e colapsíveis apresentam compressibilidade alta para a sua natureza granulométrica, sendo reduzida ao valor normal quando sua estrutura é destruída e, nestes casos, a carga de pré-adensamento, tende a obedecer o peso da terra existente. No entanto, quando estes solos são perturbados constantemente pela secagem de suas camadas superiores e pelo endurecimento das suas camadas inferiores o recalque por colapso pode ser máximo nas pequenas pressões aplicadas, por efeitos de saturação repentina, muito comum em áreas urbanas.

## 3.2 BREVES CONSIDERAÇÕES SOBRE PLANEJAMENTO URBANO E TERRITORIAL

### 3.2.1 Condicionantes Físicas e Territoriais

A ocupação dos espaços continentais é absolutamente condicionada às variáveis físico-territoriais.

As primeiras civilizações buscaram conforto e abrigo junto a locais com facilidade de obtenção de água e produção de alimentos. Ao mesmo tempo que, as civilizações cresciam demograficamente, crescia também a exploração e manejo dos recursos naturais - agricultura, pecuária, extrativismo e mineração.

No entanto, em nenhum momento as aglomerações humanas afastaram-se dos recursos hídricos, quer pela necessidade de consumo para suas necessidades básicas, quer para consumo em atividades primárias.

Naturalmente estas aglomerações humanas transformaram-se em aldeias precursoras das urbanizações que, por sua vez, a cada pulso de crescimento necessitavam expandir-se, como também, buscar novos recursos naturais.

Com isto, cresceram os movimentos migratórios e de descobrimentos de novas terras, surgindo teias de núcleos urbanos em todos os continentes com exceção da Antártica, e não por acaso, sempre juntos a generosas bacias hidrográficas.

Cresceram também os caminhos que levam a tais núcleos que se constituíram nos seus principais vetores de crescimento.

O contínuo processo mundial de urbanização acentua-se em fins do Século XIX com a Revolução Industrial, onde a matéria-prima (recursos naturais) passa ter fundamental importância econômica. É neste momento, inclusive e dada as necessidades, que se formulam as primeiras Leis da Administração (gestão) por Taylor e Fayol com a nítida preocupação de se planejar as atividades econômicas e seus espaços (CHIAVENATO, 1992, p 03 ).

As primeiras organizações espaciais do território remontam ao Oriente próximo, ao Egito Antigo, China, Roma Antiga e principalmente a Grécia Antiga. Porém, é a partir da Revolução Industrial que o planejamento urbano e territorial passa a ser mais requerido.

O Século XX por sua vez, já se caracteriza pela adição da variável sócio-ambiental ao processo de planejamento urbano e territorial. A complexidade dos temas começa exigir mecanismos legais e institucionais de ordenamento dos espaços.

As cidades passam a ser entendidas como expressão tangível de um processo social mais amplo e um meio ambiente construído a partir deste processo (COELHO, 1999, 39).

Já o Século XXI está sendo marcado pela era informacional, onde as relações mecânicas da era industrial de fluxos de bens e de pessoas são substituídas por conteúdos onde a ciência e a tecnologia possuem mais ênfase (COELHO, 1999, p 39).

Mesmo assim, mantém-se a disputa entre os setores da agricultura, indústria e abastecimento humano, que competem entre si e geram sérios conflitos entre seus usuários (FIGUEIREDO, 1997, p 40). Ou seja, os recursos hídricos permanecem como principal condicionante para o desafio do planejamento das pólis, as quais impermeabilizam o solo, removem a cobertura vegetal, produzem efluentes líquidos, sólidos e gasosos e por mais paradoxal que seja, com isto comprometem qualitativa e quantitativamente os mesmos.

O desafio do planejamento urbano e territorial então é o de buscar o equilíbrio entre as componentes espaciais que mais se evidenciam – social, econômica e ambiental. Deve buscar então o planejamento sustentável ou equilibrado de tais variáveis.

O enfoque sistêmico e visão integrada hoje não bastam, sendo a abordagem amplificada para uma lógica difusa, cujos contornos são fluentes no tempo e no espaço (PDI/RMC, 2001, p 7). Ou seja, variáveis que não são devidamente ponderadas, muitas vezes assumem, a posteriori, papel de maior relevância, pois os efeitos disto são rapidamente sentidos, em que pese, muitas vezes, a sua pequena magnitude.

Em suma, a ocupação do solo e o uso da água devem ser precedidos de um planejamento em que se considerem as demais variáveis e ele deve apontar, justificadamente, quais mecanismos de gestão e monitoramento são os mais adequados para o controle da sustentabilidade.

### 3.2.2 Processos de Gestão

A acelerada expansão urbana e as conurbações são os centros das intensas relações continuadas entre as atividades humanas e o meio físico nas metrópoles.

O gerenciamento ambiental das grandes cidades tem-se voltado prioritariamente para a poluição e a disponibilidade dos recursos hídricos lançando mão de instrumentos técnico-legais tais como planos diretores, planos setoriais, leis de uso e ocupação do solo, fóruns, conselhos e instituições públicas de planejamento e controle.

Seguramente a Lei Federal nº 6.766/1979 (BRASIL, 1979) se constitui na primeira ferramenta importante para tanto. A chamada Lei Lehman, determina que não pode haver parcelamento do solo em determinadas condições do meio físico – em terrenos alagadiços e sujeitos à inundação, com declividades superiores a 30%, em terrenos cujas condições geológicas não aconselham edificações e etc.

A Constituição Federal de 1988, em seus artigos 182 e 183 estabeleceu regulamentações da Política Urbana nacional e que resultou na Lei Federal nº 10.257/2001 (Estatuto das Cidades), o qual prevê

*o planejamento do desenvolvimento das cidades, da distribuição espacial da população e das atividades econômicas do município e*

*do território sob a sua área de influência, de modo a evitar e corrigir as distorções do crescimento urbano e seus efeitos negativos sobre o meio ambiente (Artigo, 2º, Inciso IV).*

A referida lei destaca como instrumento de gestão da Política Urbana os planos diretores, de ordenamento territorial, particularmente nas regiões metropolitanas e todos os seus institutos jurídicos e institucionais.

Quanto aos recursos hídricos, os primeiros dispositivos legais referem-se ao Código das Águas (Decreto Federal nº 24.643/1934), onde se define que o uso mais nobre da água é o do abastecimento público e que deve predominar sobre os demais.

A Resolução nº 20/1988 do CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente veio normatizar o uso das águas e classificá-las e o Ministério da Saúde através da Portaria nº 36/1990 fixou o padrão de potabilidade. (BRASIL, 1988)

A partir de 1990 instalou-se um debate nacional buscando um conjunto de leis e regulamentos pelos quais se previa a cobrança pelo uso da água (princípio do usuário pagador) entendendo que esta é um bem público dotado de valor econômico e a criação de comitês e agências de bacias hidrográficas segundo Garrido<sup>11</sup> (1996, apud BARROS e MONTICELLI, 1998, p 513) o que resultou na Lei Federal nº 9.433/1997 que dispõe sobre a Política Nacional e cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos.

De acordo com Lobato (1999, p 31), o novo sistema visa promover a articulação de ações e instrumentos em três níveis: 1) comando e controle, exercido tradicionalmente no espaço de atuação do setor público; 2) instrumentos econômicos de gestão de modo a induzir os agentes que se apropriam dos recursos naturais a internalizar pela via do mercado custos de produção que via de regra são repassados à sociedade e, 3) auto-gestão, por parte do setor produtivo, buscando qualidade e tecnologias ambientalmente corretas.

---

<sup>11</sup> GARRIDO, R.J.S Notas sobre o Projeto de Lei nº 2.249, do Executivo Federal. In: Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia, 8, 1996. Rio de Janeiro, Anais... São Paulo: ABGE, v. 3.

## 4 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

### 4.1 MEIO FÍSICO

#### 4.1.1 Geologia

##### 4.1.1.1 Litoestratigrafia

A definição precisa da estratigrafia do Grupo Açungui está entre as principais dificuldades dos pesquisadores do Proterozóico paranaense, sendo que poucos levaram em consideração informações em escala regional tal que ponderassem interpretações geotectônicas integradas a estudos de ambientes de sedimentação, metamorfismo, magmatismo e geocronologia o que pode ser a causa para existência de mais de 40 (quarenta) colunas sugeridas para o grupo, constatadas por Fassbinder <sup>12</sup> (1996, apud COMEC, 2002, p 3-1).

No entanto, com base nos diversos autores, é possível subdividir o Grupo Açungui em duas formações geológicas – Votuverava e Capiuru.

A Formação Votuverava compreende espessa faixa que domina a porção mais a norte da RMC, acima da Falha da Lancinha que traduz o contato com a Formação Capiuru.

É constituída por uma seqüência de baixo grau metamórfico, fácies xisto-verde que, em que pese as deformações geradas pelas transcorrências, se divide em domínios de litofácies distais e de zona de transição.

Na zona de transição é possível identificar uma seqüência turbidítica que indica paleogeografia de talude/fossa, a base de metaconglomerados grosseiros com pacotes psamopelíticos adjacentes.

A distal caracteriza-se pela associação de espessos pacotes pelíticos e psamopelíticos, compostos por filitos, filitos carbonosos, metarritimitos, quartzitos e metacalcarenitos, todos de natureza turbidítica e interdigitados por metabasitos e ferromagnesíferas, atestando paleoambiente de águas profundas.

A Formação Capiuru, unidade de interesse deste estudo, distribui-se segundo SW-NE numa faixa de largura variável a norte de Curitiba, limitando-se a sul com

---

<sup>12</sup> FASSBINDER, E. Unidade Água Clara no Contexto do Grupo Açungui: um modelo transpressivo de colisão oblíqua no neo-proterozóico paranaense. São Paulo, IG/USP, 207, 1996. (Tese de Doutorado)

rochas do embasamento ou sedimentos da Bacia de Curitiba por contatos normais discordantes e/ou falhas transcorrentes e inversas, e a norte, com a Formação Votuverava.

Representa uma seqüência metassedimentar que inclui metacalcários dolomíticos brancos ou esbranquiçados e estromatolíticos, metamargas, quartzitos finos a grosseiros cinza esbranquiçados, metapelitos carbonosos, metarritimitos, sericita filitos e filitos em geral, além de quartzo-sericita xistos e raras ocorrências de meta-tufos.

As rochas carbonáticas compõem extensos pacotes de metacalcários dolomíticos que vão desde Almirante Tamandaré até Bocaiúva do Sul, passando por Colombo e Rio Branco do Sul.

Neste litotipo é que ocorrem as estruturas de dissolução ao longo de fraturas, onde a presença de dolinas, grutas, sumidouros e surgências são freqüentes, além do relevo se apresentar arrasado e aplainado.

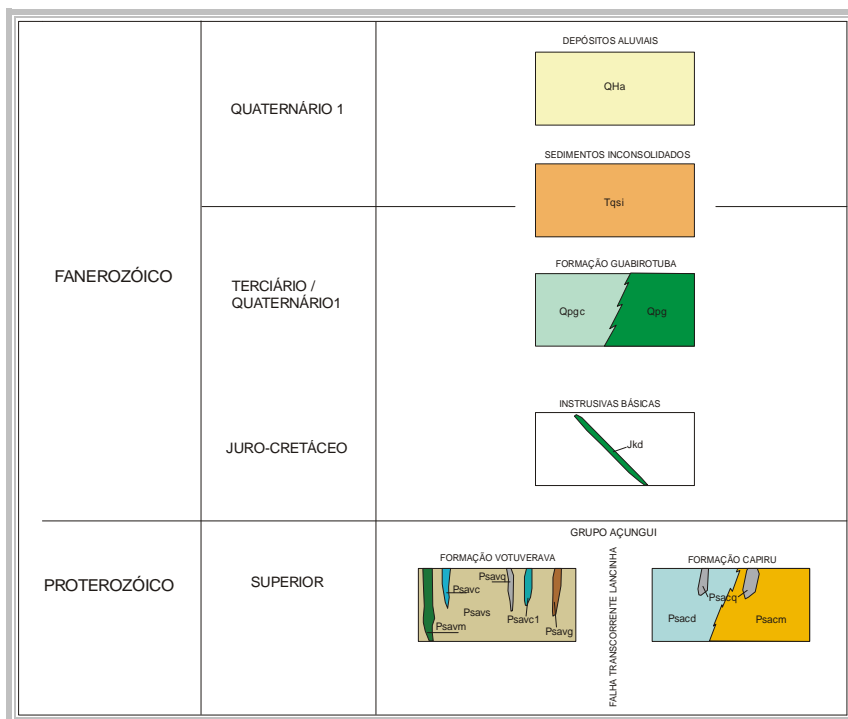
O metamorfismo regional imposto a tais rochas é de fácies xisto-verde (zona da clorita) onde são reconhecidas estruturas primárias e um metamorfismo localizado, também de fácies xisto-verde com surgimento de cianita, provavelmente associado a esforços estruturais de falhamentos.

Ocorrem nestes litotipos estruturas sedimentares que evidenciam ambiente marinho plataformacional de águas rasas como também de ambientes transicionais costeiros (flúvio-litorâneo), a exemplo dos quartzitos. Os filitos sugerem um ambiente plataformacional um pouco mais profundo ou lagunar. (carbonosos).

Entrecortam as rochas da Formação Capiçu, rochas juro-cretáceas, intrusivas e posteriores à tectônica pré-cambriana que se apresentam como diques de diabásio, dolerito, diorito pórfiro e quartzo diorito, na forma de enxames de representantes cuja largura varia de métrica a dezenas ou centenas de metros, gerados no Evento Sul-Atlântico e centrados no domínio do Arco de Ponta Grossa. (FASSBINDER, 1996, apud COMEC, 2002, p 3-3)

Os depósitos aluvionares de pouca espessura (Terciário/Quaternário) ocupam as planícies de inundação das drenagens a base de argilas, siltes, areias, cascalhos e argilas turfosas, recobrendo as rochas da Formação Capiçu.

A coluna estratigráfica resumida a seguir expressa o empilhamento regional dos litotipos da área estudada (FIGURA 07).



**FIGURA 7:** COLUNA ESTRATIGRÁFICA SIMPLIFICADA

**FONTE:** ADAPTADA COMEC, 2002.

A seguir, descrição dos litotipos da Formação Capiu baseado em COMEC (2002).

- Metacalcários Dolomíticos:

Possuem granulação fina, bandamento (decimétrico a métrico), cor branca a acinzentada, com estruturas sedimentares e biossedimentares (estromatolíticas) preservadas. As estruturas sedimentares que podem ser facilmente reconhecidas dizem respeito às laminações plano-paralelas “*mud-cracks*” e marcas de onda, dentre tantas.

Os metacalcários dolomíticos maciços ocorrem próximos ao contato da Formação Capiu com a Formação Votuverava e no extremo sudoeste do Antiforme Setuva e são marcados por afloramentos homogêneos e esbranquiçados, granulação fina e níveis decimétricos de quartzitos finos esbranquiçados intercalados e bandeamento também decimétrico.

Alguns afloramentos apresentam alternâncias de mármore cinza-claro esverdeado a cinza médio, com níveis de muscovita-quartzo e metacalcário cinza



médio de granulação média, com raras estruturas estromatíticas, possivelmente denotando ambientes mais profundos de deposição.

- Metapelitos:

Dada a variações granulométricas, os metapelitos podem ser subdivididos em metarritmitos, filitos, metassiltitos, filitos carbonosos e filitos avermelhados: 1) Metarritmitos – possuem bandamento centimétrico a decimétrico (laminação plano-paralela) em função da alternância granulométrica e de cor entre os termos silte-areia, sendo comuns metarritmitos cinza-médio a claros e metassiltitos a filitos carbonosos com fina laminação interna. Ocorrem de forma lenticular gradando para termos mais arenosos próximos a Bocaiúva do Sul; 2) Filitos a Metassiltitos – seguem relevo na forma de cristas alongadas com direção em geral N60°E, tratando-se de uma unidade de transição entre as demais; 3) Filitos Carbonosos – ocorrem predominantemente a sudoeste e norte de Campo Magro e em algumas faixas junto à Almirante Tamandaré e Colombo, com baixa grafitização; 4) Filitos Avermelhados – ocorrem próximos às rochas do Complexo Gnáissico/Migmatítico e localmente encontram-se afetados por deformações de natureza transcorrente, sendo homogêneos a rítmicos, com bandamento centimétrico a decimétrico, evidenciado pela alternância das frações argila-silte. Quando pouco alterados apresentam cores esverdeadas a acinzentadas e presença de sericita.

- Quartzitos:

Quartzitos finos – correspondem a lentes e faixas descontínuas de pouca espessura, concentradamente entre Rio Branco do Sul e Almirante Tamandaré, alinhando espigões em SW-NE ou pequenas cristas.

Quartzitos médios – também sustentam serras alinhadas, associando-se aos mármore próximo a Tunas do Paraná e Bocaiúva do Sul, ressaltando o padrão de dobramento local, ocorrendo em faixas de pequena espessura.

Quartzitos grosseiros – de cor acinzentada, granulometria média a grossa (localmente conglomeráticos), são normalmente acinzentados (quartzo escuro), com grãos arredondados a subarredondados. Ocorrem intercalações de filitos carbonosos, metarritmitos e por vezes porções ferruginosas com cristais idiomórficos de magnetita.

#### 4.1.1.2 Geologia Estrutural

As rochas do Grupo Açungui registram deformações relacionadas ao Cinturão Ribeira segundo Hasui et al<sup>13</sup> (1975, apud FIORI, 1990 p 57), apresentando dobramentos (regime dúctil) e falhamentos (regime rúptil) caracterizados por planos verticais a sub-horizontais e direções variadas.

Neste contexto, ao menos três sistemas de deformação ocorreram tanto na Formação Capiçu como na Votuverava, segundo Fiori (1990, p 57).

A primeira relaciona-se a uma tectônica de empurrão correspondente a uma zona de cisalhamento de baixo ângulo com  $S_1 // S_0$ , dobras  $D_1$  com flancos falhados.

A segunda é representada por dobramentos generalizados de  $S_0$  e  $S_1$  com dobras  $D_2$ , abertas ou fechadas, com eixo em NE-SW e caimentos menores que 30° predominantemente para SW.

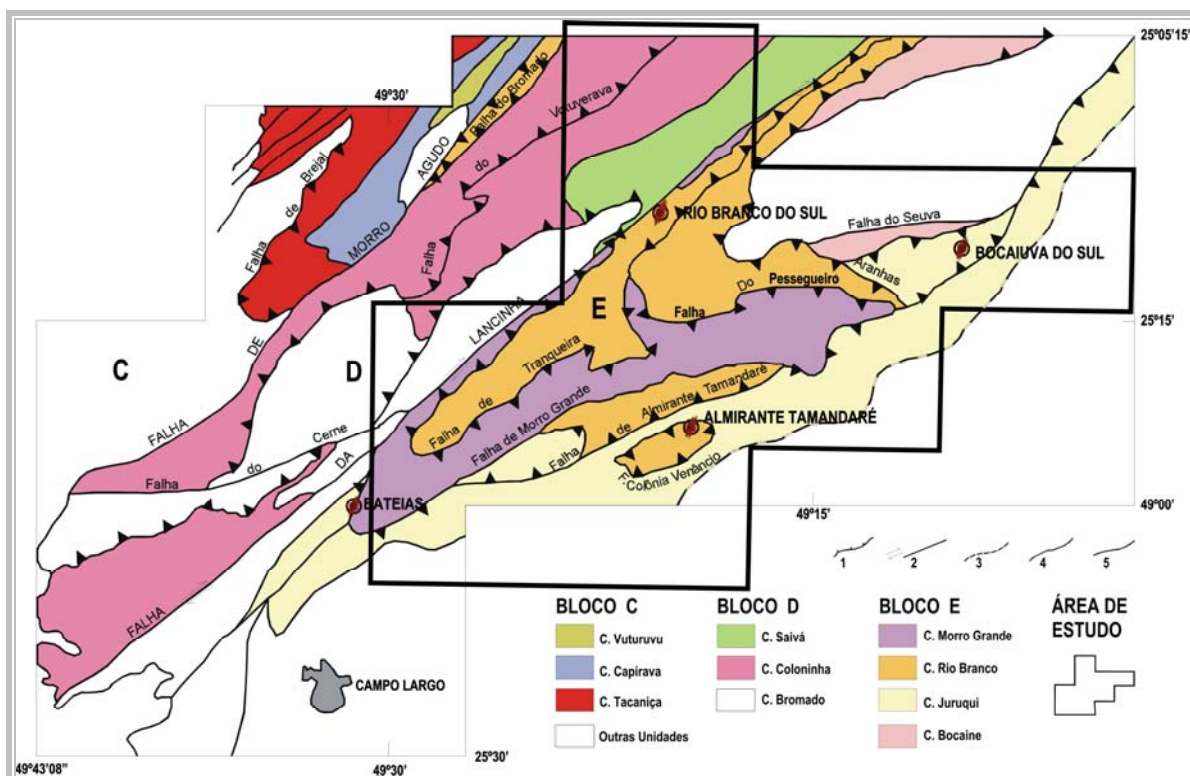
A terceira é representada por grandes falhas transcorrentes e estruturas associadas (sintéticas e antitéticas, empurrão) à Falha da Lancinha, caracterizando clivagem de fraturas em NW paralelas aos diques de diabásio (antitéticas) e lineamentos E-W (sintéticas).

Este sistema de deformação (sistema duplex) relacionado à primeira fase determina uma estrutura imbricada limitada por falhas de empurrão e blocos (*horses*) internos separados por falhas secundárias de empurrão (FIGURA 08), representada na área em estudo pela Falha do Sinforme de Almirante Tamandaré. O conjunto de estruturas pressupõe movimentação lateral à direita e ainda possibilita a definição de diferentes blocos estruturais para o Grupo Açungui (FIORI, 1990, p 56).

A Formação Capiçu encontra-se integralmente no Bloco estrutural E, ao sul da Falha de Lancinha, sendo composta pelas seqüências Morro Grande, Rio Branco, Juruqui e Bocaina, segundo Fiori (1990, p 167).

---

<sup>13</sup> HASUI, Y; CARNEIRO, C.D.R.; COIMBRA, A.M. The Ribeira Folded Belt. Revista Brasileira de Geociências. São Paulo, 5 (4): 257-66. 1975.



**FIGURA 8:** CONJUNTOS LITOLÓGICOS E BLOCOS ESTRUTURAIS DO GRUPO AÇUNGUI.

NOTA: C, D, E REPRESENTAM BLOCOS TECTÔNICOS SEPARADOS PELAS FALHAS DO MORRO AGUDO E DA LANCINHA. 1) FALHAS DE CAVALGAMENTO, COM MERGULHO INDICADO PELOS PEQUENOS TRIÂNGULOS; 2) FALHAS TRANSCORRENTES COM SENTIDO DE MOVIMENTO INDICADO; 3) LIMITE APROXIMADO ENTRE O EMBASAMENTO CRISTALINO E O GRUPO AÇUNGUI; 4) CONTATO ENTRE CONJUNTOS LITOLÓGICOS; 5) FALHAS NORMAIS.

FONTE: FIORI (1990, p 56).

Importante salientar que do arranjo lito-estrutural resultam as zonas de fraqueza pelas quais a carstificação se preferencia, sobretudo ao longo dos fraturamentos impostos. Bonacim<sup>14</sup> (1996, apud SANEPAR, 2002, p 66) destaca que as principais direções destes fraturamentos estão em N40-50W, N60-70W, N30-50E, N70-80E e N-S, correspondendo justamente aos “*trends*” da evolução tectônica regional.

#### 4.1.1.3 Evolução Geológica da Formação Capiru

A reconstituição da história geológica da Formação Capiru é bastante dificultada em função do tectonismo a ela imposto.

Situada basicamente no Bloco Tectônico E definido por Fiori (1990), abriga diversas estruturas que dificultam a restituição dos ambientes de sedimentação do Proterozóico Superior – Antiforme do Setuva, Sinformes do Morro Grande, de

<sup>14</sup> BONACIM, Eliane Aparecida. *Dinâmica do sistema hidrogeológico cárstico na área de Tranqueira – Região Metropolitana de Curitiba*. Dissertação (mestrado em Geologia Ambiental) – Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 1996

Colombo, da Cachoeira, de Almirante Tamandaré e de Campo Magro. Some-se a isto o metamorfismo de caráter regional – fácies xisto verde, zona da clorita que contribui ainda mais para com tal dificuldade.

De acordo com Fiori (1990) a deposição do Grupo Açungui inicia-se sobre outros depósitos já tectonizados (Formação Setuva e Complexo Pré-Setuva) e correspondem à Formação Votuverava representada por sedimentos litorâneos com leques de turbidez e turbiditos, por vezes capeados por quartzitos ferruginosos e por depósitos de mármore formados a partir de sedimentos de águas relativamente rasas e metarritmitos de águas mais profundas.

Segundo Fiori (1990), é provável que a bacia de deposição nesta época fosse restrita e em fase de abertura, recebendo depósitos de geleiras, evoluindo para uma bacia ampliada com preenchimento de sedimentos turbidíticos em águas mais profundas com intensa atividade tectônica, passando, a seguir, para um ambiente de maior estabilidade e de menor profundidade.

Quanto à Formação Capiçu, o seu conteúdo litológico, aliado às estruturas sedimentares preservadas (biossedimentares estromatolíticas) sugere uma deposição em ambiente marinho pouco profundo com pouca atividade sin-sedimentar e tendo por assoalho o Embasamento Cristalino, reconhecendo-se também ambientes mais profundos ou lagunares – pelitos carentes de estruturas sedimentares e transicionais costeiros – flúvio-litorâneos (COMEC, 2002, p 3-14).

Os estromatólitos presentes nos carbonatos, formados por colônias microbianas fóticas, juntam-se a estruturas tais como laminações plano-paralelas, fendas de ressecamento, marcas onduladas e mesmo zonas de oólitos e pisólitos evidenciando uma litofácia de planície inter-maré a sub-maré, num contexto de clima quente (COMEC, 2002, p 3-14).

Ao longo da sua evolução, a Bacia do Açungui passou por importantes eventos relacionados ao tectonismo regional, sendo que seu fechamento se deu por compressão em NW-SE, culminando, segundo Fiori (1990, p 242), com uma tectônica de cavalgamento e transporte de massa para SE e, mais tarde, com outros eventos de dobramentos (Apiaí) e de transcorrência (Lancinha), complicando ainda mais a geologia local e, conseqüentemente, a interpretação da sua história geológica.

#### 4.1.2 Geomorfologia

A paisagem do Paraná segundo Maack (1968, p 295) é resultado da inter-relação de fatores ambientais do meio físico (sistemas hidrográficos, epirogenia/tectonismo, clima, intemperismo/resistência litológica e etc) o que propiciou a construção de 05 (cinco) macro-ambientes geomorfológicos: 1) Zona Litorânea; 2) Serra do Mar; 3) Primeiro Planalto ou Planalto de Curitiba; 4) Segundo Planalto ou Planalto dos Campos Gerais ou Planalto de Ponta Grossa e, 5) Terceiro Planalto ou Planalto de Guarapuava.

Neste contexto, a área de estudo localiza-se no Primeiro Planalto Paranaense, o qual tem como sub-regiões, baseadas no substrato, nos divisores de água e no posicionamento de escarpas/serras que definem as bordas dos planaltos, a Zona Montanhosa do Açungui e o Planalto do Maracanã de acordo com Maack (1981, p 298).

Ao sul e sudeste, a partir dos limites entre o Complexo Gnáissico-Migmatítico (Embasamento) e o Grupo Açungui, o relevo apresenta-se homogêneo com interflúvios levemente inclinados para sul, declinando até as extensões planas das várzeas do rio Iguaçu, tornando-se ondulado para norte, onde predominam as litologias do Grupo Açungui (COMEC, 2002, p. 6-6).

Destas sub-regiões, a que se insere a área de estudo é a da Zona Montanhosa do Açungui, cujo relevo reflete, principalmente, toda a complexidade geológica estrutural, caracteristicamente movimentada.

A energia do relevo da Zona Montanhosa do Açungui se acentua quanto mais se distancia dos limites entre o Complexo Gnáissico-Migmatítico e o Grupo Açungui (COMEC, 2002, p. 6-6).

De acordo com COMEC (2002, p 6-14) a geomorfologia da área correspondente à Formação Capiu disposta na Bacia Hidrográfica do Alto Iguaçu, diz respeito então a 02 (duas) grandes Unidades Geoambientais:

- Serranias Alongadas – filitos e quartzitos que apresentam relevo alongado orientado segundo o “*trend*” regional SW-NE devido ao contraste de resistência entre as camadas quartzosas e filitosas, formando divisores de água;

- Zonas Cársticas – terrenos formados por metadolomitos (principalmente) da Formação Capiuru, que se apresentam deprimidos em relação aos relevos laterais, alongados em NEE – SWW que incluem os Platôs Cársticos de Tranqueira e Marmeleiro.

Os diques doleríticos também orientam o relevo uma vez sua grande resistência mecânica. No entanto, dada também a sua susceptibilidade à ação química, denotam topos quando cortam os carbonatos (mais susceptíveis) e são menos marcantes quando cortam quartzitos (mais resistentes).

Esta trama do relevo e consequente compartimentação condiciona a organização hidrográfica da região, com drenagens que se dirigem para depressões mais amplas (cársticas) de forma sucessiva e orientadas em ENE-WSW. A ocupação do solo então se dá preferencialmente sobre estas faixas de rochas carbonáticas, tanto a rural como a urbana.

#### 4.1.3 Materiais Inconsolidados

De acordo com COMEC (2002, p 4-4), a área de estudo apresenta uma diversidade de materiais inconsolidados relacionados diretamente com a geologia local e que se revestem de muita importância quanto às condições para o uso e a ocupação do solo, pois podem mascarar condições inadequadas, sob o ponto de vista ambiental e geotécnico, para tanto.

São identificados, portanto os seguintes materiais:

- Solos hidromórficos sobre aluviões e planícies cársticas; ocorrem em planícies de inundações das drenagens, terraços aluvionares e planícies cársticas (sem níveis arenosos) cujo lençol freático é inferior a 2 metros ou mesmo aflorante, constituído de solo orgânico ou turfoso (1 a 2 m), argila intermediária cinza escura (1 m), plástica com baixa permeabilidade, areia fina a grossa e/ou cascalho (1 m) com permeabilidade média a elevada.

Santos (1998, p 4) ao estudar a infiltrabilidade e a disponibilidade de água dos principais solos do karst do Paraná constatou que a velocidade básica de infiltração na Associação Solos Hidromórficos Gleyzados + Cambissolos Hidromórficos Gleyzados chegou a  $186 \text{ mm h}^{-1}$ , concluindo que esta permeabilidade saturada potencializa as possibilidades de contaminação do aquífero por lixiviação, requerendo muito cuidado com o manejo de agroquímicos nestas circunstâncias.

- Solos transportados/colúvios; encontram-se recobrimdo metacalcários dolomíticos, em cores variegadas e tons avermelhados, com níveis “*stone-lines*” (quartzo e metapelitos) evidenciando recorrências deposicionais, podendo chegar a mais de 35 metros. Possuem textura argilosa a siltosa com alta porosidade e permeabilidade ( $0,01 \text{ mm/s}$  ou  $36 \text{ mm/h}$ ) e média a alta resistência à penetração (SPT).

- Solos residuais sobre diabásios, com matacões, associados a franjas de colúvio; relacionados à decomposição das intrusivas básicas e transporte, ocorrem ao longo de cristas com topo achatado e com vertente íngreme convexa. Quando se associam a franjas de colúvio, chegam a centenas de metros de largura. Apresentam um perfil de solo transportado com matacões, solo residual maduro argiloso ( $< 3\text{m}$ ), castanho avermelhado, baixa permeabilidade e comportamento erodível e saprólito avermelhado ( $> 5\text{m}$ ), textura siltosa e matacões, baixa permeabilidade e resistência média à penetração (SPT).

- Solos sobre rochas quartzíticas; pouco desenvolvidos e restritos às exposições dos quartzitos (cristas).

- Solos residuais de metapelitos com inclusões de transportados; perfil típico com colúvio siltico-arenoso amarronado ( $< 1\text{m}$ ), baixa resistência à penetração (SPT), erodibilidade baixa e permeabilidade baixa a média ( $10^{-5} \text{ cm/s}$ ), solo residual maduro de cor acastanhada ( $< 1\text{m}$ ), permeabilidade baixa a muito alta ( $10^{-3}$  e  $10^{-8} \text{ cm/s}$ ), baixa resistência à penetração (SPT) e erodibilidade e saprólito vermelho-amarelo, bandado, textura siltosa e permeabilidade média a baixa ( $10^{-6} \text{ cm/s}$ ).

- Solos residuais de metacalcários dolomíticos; solos maduros avermelhados, com sílica, com transição direta à rocha e reentrâncias irregulares em “V” no topo rochoso (dissolução cárstica preenchida), espessuras de  $0,5 \text{ m}$  a mais de  $20 \text{ m}$ , textura argilosa, permeabilidade média a baixa ( $10^{-3} \text{ cm/s}$ ) e SPT variável.

Interessante registrar que Santos (1998, p 5) constatou em seu estudo (op. cit.) que a Terra Bruna Roxa Estruturada, embora com textura argilosa, sem cobertura de solo e com menor presença de raízes e microorganismos, possui uma estrutura prismática bem definida, o que possibilita infiltração por tais espaços vazios e pouca retenção de água ( $< 1\text{mm/cm}$  de disponibilidade).

#### 4.1.4 Clima

O clima da região estudada, de acordo com COMEC (2000, p 6), é classificado como Cfb (Classificação de Koeppen), definido como sempre úmido, pluvial quente-temperado, sendo que o mês mais quente possui médias inferiores a  $22^{\circ}\text{C}$  e onze meses do ano as temperaturas médias são superiores a  $10^{\circ}\text{C}$ .

Conforme a referida classificação, neste caso as precipitações são regulares em todos os meses do ano e ocorrem geadas severas associadas a uma situação de domínio climático das massas de ar polar (frias e secas) ocasionando quedas acentuadas de temperatura.

O tipo climático Cfb define como média anual, precipitações na ordem de 1.400 mm, sendo que o menor índice pluviométrico ocorre comumente no mês de agosto (75 mm) e o maior em geral no mês de janeiro (175 mm), sem uma estação seca definida. A média anual da umidade relativa do ar nestas situações é de aproximadamente 80%.

Fritszons et al (2001) calcularam a precipitação pluviométrica anual a partir de dados de uma série histórica de 19 anos (1975 a 1994) das estações pluviométricas de Colombo e Juruqui em Almirante Tamandaré, chegando à média de 1475 mm.

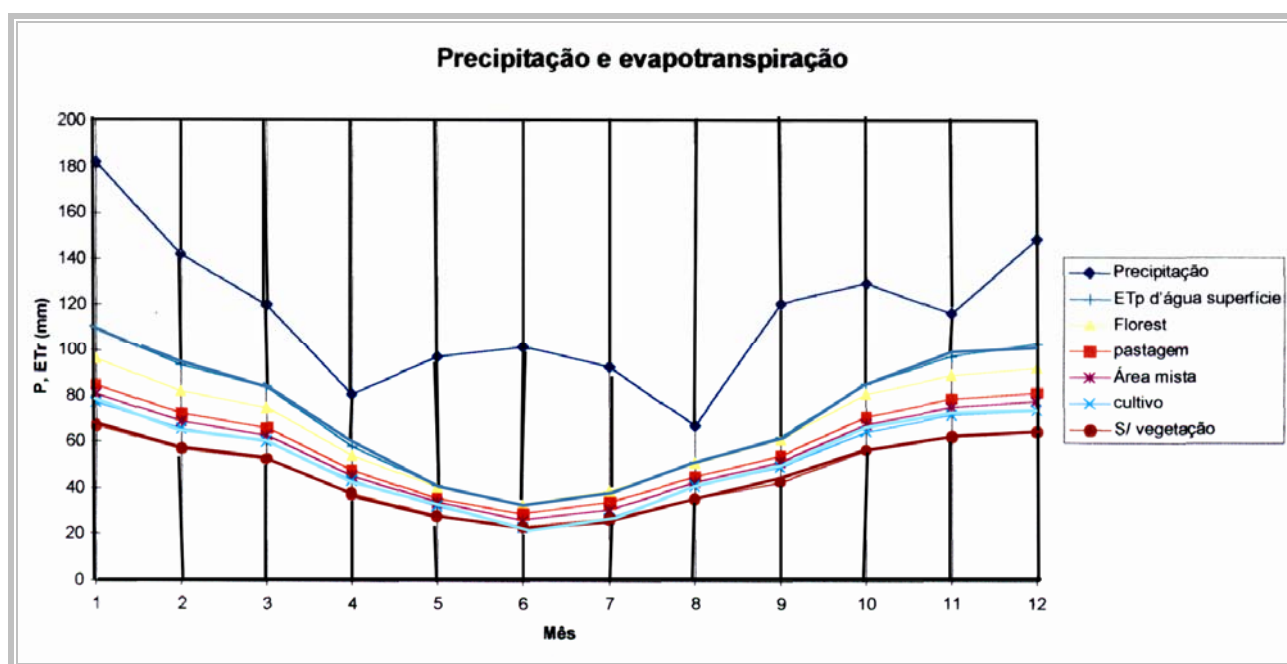
Também calcularam a evaporação, a partir de dados da estação Meteorológica da Fazenda Experimental da Faculdade de Agronomia da UFPR, de uma série de 08 anos (1986 a 1994), chegando a média anual de 692,4 mm e a evapotranspiração potencial de 519,3 mm. A diferença entre a precipitação média (1475 mm) e a evapotranspiração média (519,3 mm) é de 955,7 mm, significando o excedente médio anual disponibilizado para a infiltração e escoamento superficial. Apesar deste excedente o estudo revelou que ocorrem curtos períodos de estiagem durante o ano, beirando ao déficit hídrico.



A SANEPAR (2000, p 42), por sua vez, ao analisar séries históricas de precipitação (1954-1997) buscando estabelecer o balanço hídrico da região da Fervida em Colombo-PR, chegou ao valor corrigido para a precipitação média local de 1.404 mm/ano.

Segundo Lisboa (1997, p 40), o balanço anual na região será normalmente positivo, estando este disponível para a recarga dos aquíferos e com sobras significativas correspondendo aos anos de grandes enchentes.

Apesar das diferenças de valores, importante observação do estudo da SANEPAR é o de que a taxa referente a evapotranspiração muda conforme o uso do solo e a densidade de cobertura vegetal (FIGURA 09). Quanto menor a cobertura vegetal menor é a evapotranspiração real.



**FIGURA 9: PRECIPITAÇÃO MENSAL P E EVAPOTRANSPIRAÇÃO REAL  $ET_r$  PARA AS DIFERENTES CLASSES DE USO DO SOLO NA ÁREA DE COLOMBO-FERVIDA.**

*FONTE:* SANEPAR, 2000, P 43.

Logo, em se considerando que os fatores fisioclimáticos são os que influenciam diretamente os “*input*” do sistema cárstico, pode-se afirmar que a infiltração é muito maior nestas circunstâncias.

Em sendo maior, é maior também o volume circulante pelo sistema permitindo uma maior e mais acelerada construção de feições carstificadas, ainda mais se as



As Bacias do Iguaçu e Ribeira possuem sub-bacias que são consideradas, mananciais, atuais ou futuros, para fins de abastecimento público de água potável – Bacias do Alto Iguaçu, do Rio Miringuava, do Rio Cotia, do Rio Maurício, do Rio Cachoeira, do Rio Passaúna, do Rio Verde, do Rio Itaquí II, do Rio Açungui, do Rio Capivari e do Rio da Várzea (Decreto Estadual nº 2.964 de 19/09/80).

Estes sistemas hidrográficos contribuem para o abastecimento público com suas vazões mínimas, conforme TABELA 1.

**TABELA 1:** VAZÕES CARACTERÍSTICAS DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS ALTO IGUAÇU E ALTO RIBEIRA.

BACIA	CURSO D'ÁGUA		ÁREA DE DRENAGEM (km <sup>2</sup> )		VAZÃO MÉDIA DE LONGO TERMO		VAZÃO MÍNIMA (Q <sub>7,10</sub> )	
	Nome	Local	No Pr.	Total	m <sup>3</sup> /s	l/s/km <sup>2</sup>	m <sup>3</sup> /s	l/s/km <sup>2</sup>
<b>IGUAÇU</b>	R. Iguaçu	B. Nova	2.748,0	2.748,0	50,1	18,23	8,1	2,94
<b>RIBEIRA</b>	R. Ribeira	Divisa PR/SP	9.129,0	9.920,0	136,9	15,0	41,1	4,5

Fonte: PDI/RMC, 2001.

Em se considerando a relação de vazão média 187 m<sup>3</sup>/s com a população (2.800.000 habitantes aproximadamente), pode-se considerar uma situação preocupante para a RMC em termos de disponibilidade *per capita*. Projeções para o ano de 2020 indicam que a população metropolitana deverá chegar a casa dos 4,5 milhões de habitantes, o que significaria uma disponibilidade de 1.310 m<sup>3</sup>/ano/hab, considerada crítica (PDI/RMC, 2001, p 88).

De acordo com PDI/RMC (2001, p 100), são considerados mananciais do Alto Iguaçu as Bacias do Irai, Palmital, Itaquí - São José dos Pinhais (atuais) e Bacias do Miringuava, Cotia, Despique, Maurício, Faxinal, Verde, Itaquí - Campo Largo, Várzea e do Poço (futuros).

No Alto Ribeira, a Bacia do Açungui é considerada um manancial com potencial para o futuro. Em que pese esta definição de mananciais futuros, os mesmos já são utilizados em captações a fio d'água para fins de abastecimento público.

O Aquífero Karst é considerado manancial pela Lei Estadual nº 12.248/98, enquadrando-se na condição de manancial futuro com vazões estimadas entre 7 e 14 m<sup>3</sup>/s (PDI/RMC, 2001, p 105).

Nestas circunstâncias de disponibilidade hídrica, diversas projeções de demanda para a RMC foram elaboradas – Plano Diretor de Abastecimento SANEPAR, 1992, PDI/RMC, 2001 e PPART, 2002. O Plano de Proteção Ambiental e Reordenamento Territorial – PPART, previsto na Lei Estadual nº 12.248/98 e incorporado aos trabalhos do PDI/RMC, 2002, projetou 03 (três) cenários em que são ponderadas perdas, variações de consumo e variações populacionais. Em todas as projeções foram consideradas todas as tipologias de uso da água – doméstico, industrial, agrícola, etc. Os resultados são apresentados de forma sintética na TABELA 02.

Também foram ponderadas nestas projeções as possibilidades de abandono de algumas sub-bacias dos Sistemas Alto Iguaçu e Alto Ribeira uma vez a qualidade hídrica dos recursos em função do aporte de cargas poluidoras – públicas (esgotos domésticos) ou industriais – e que, de acordo com o PDI/RMC (2001, p 88), correspondem na região a 140.770 kg de DBO5/dia e 18.000 kg de DBO5 respectivamente.

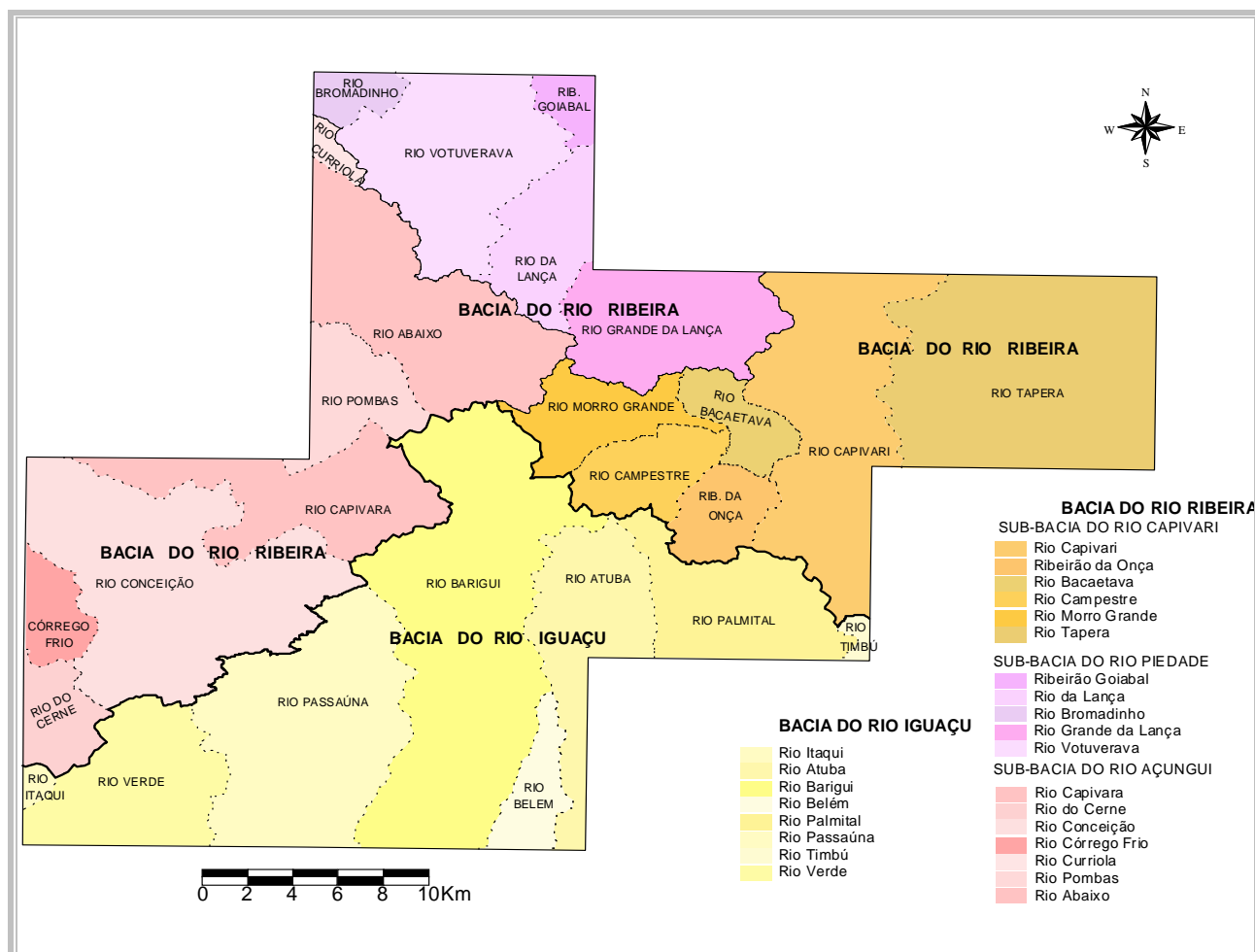
**TABELA 2: PROJEÇÃO DE DEMANDAS DE ÁGUA NA RMC**

AUTOR		ANO/DEMANDA m <sup>3</sup> /s			
		2005	2010	2015	2020
Pl. Diretor SANEPAR		9,2	10,4	12,0	13,8
PDI/RMC		8,0	11,9	13,8	18,2
PPART	Cenário 1	7,2	8,6	10,1	11,5
	Cenário 2	7,7	10,2	12,9	15,6
	Cenário 3	7,9	11,2	15,3	20,5

*FONTE: COMEC, 2002.*

A rede hidrográfica que se desenvolve sobre os litotipos da Formação Capiru e que é alimentada pelos mesmos, corresponde basicamente a afluentes da margem direita do Rio Iguaçu – Rios Verde, Passaúna, Barigui, Atuba e Palmital, e ainda os da

Sub-Bacia do Capivari (Bacia do Ribeira) – Rios Capivari, da Onça, Bacaetava, Morro Grande, Tapira (FIGURA 11).



**FIGURA 11: LOCALIZAÇÃO DAS SUB-BACIAS DO RIO IGUAÇU E RIBEIRA**  
**FONTE:** COMEC, 2002, P 2-4/5

Segundo SANEPAR (2002, p 132) a descarga de base da Bacia Hidrográfica do Alto Iguaçu nesta região encontra-se em média na cota 940 m. Considerando o limite inferior a calha do próprio Rio Iguaçu na cota 850 m a.n.m, tem-se um desnível na ordem de 90 m, o que facilita o aproveitamento destes recursos, por gravidade, para fins de abastecimento. Porém apenas o Rio Passaúna e o Rio Palmital, são aproveitados, uma vez que os Rios Barigui e Atuba não enquadram-se na Classificação do CONAMA Nº 20/86 para este fim. Estes rios apresentam IQA – Classe 3, impróprios para abastecimento e justamente são estas as bacias mais atingidas pela urbanização metropolitana.

Já o comportamento da descarga de base, da Bacia Hidrográfica do Rio Ribeira está condicionada a níveis escalonados a partir da cota 1.200 m, correspondendo ao topo dos interflúvios com a Bacia do Iguaçu, até o nível do mar, no estado de São Paulo (SANEPAR, 2002, p 133).

#### 4.1.6 Hidrogeologia

A Formação Capiuru pode ser subdividida em 02 (duas) sub-unidades (ou domínios) hidrogeológicas com comportamentos distintos: 1) metacalcários dolomíticos e, 2) filitos e quartzitos. (COMEC, 2002, p 9-4)

Os metacalcários dolomíticos possuem evidentemente permeabilidade cárstica, com grau de confinamento livre, semi-confinado e até mesmo confinado com valores de vazão exploratória na ordem de 100 m<sup>3</sup>/hora e ligação com a rede hidrográfica através das zonas de descarga.

Os filitos e quartzitos por sua vez, possuem permeabilidade fissural grau de confinamento livre ou confinado e valores de vazão exploratória na ordem de 4 m<sup>3</sup>/hora e sem ligações com a rede hidrográfica.

Os metacalcários dolomíticos ocupam uma área de 187 km<sup>2</sup> e podem ainda ser subdivididos em função de diferenças geomorfológicas (COMEC, 2002, p. 9-6). O da faixa norte, quase aflorante, possui pouca cobertura e relevo ondulado. A faixa sul é coberta por sedimento argilo-arenosos que atingem até 50 m de espessura em relevo aplainado em SE-NW.

Os metacalcários da faixa norte possuem uma disposição espacial de 3 a 7 m de largura que passa por Itaperuçu e Rio Branco do Sul infletindo até Bocaiúva do Sul.

Os da faixa sul, com larguras entre 2 e 5 Km ocorrem desde Campo Magro, passando por Almirante Tamandaré e Colombo, terminam em Bocaiúva do Sul.

Tais características são determinantes para uma diferenciação quanto à vulnerabilidade das faixas à poluição e estabilidade geotécnica. Os da faixa sul estão diretamente relacionados às características de recarga e produção do aquífero e portanto mais susceptíveis.

#### 4.1.6.1 Modelo Hidrogeológico

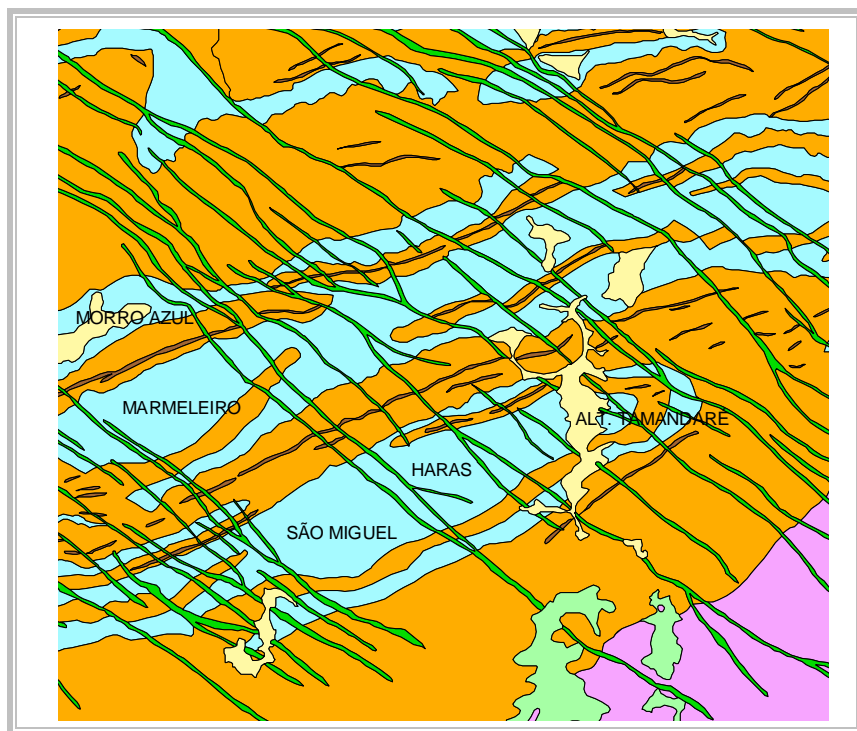
A situação morfoestrutural pressupõe uma compartimentação em que massas carbonáticas com excelentes condições de permeabilidade são limitadas por fronteiras impermeáveis – filitos, quartzitos entrecortados por diques de diabásio (LISBOA, 1996, p 90).

Tais fronteiras correspondem às direções estruturais da região SE-NW (diabásios) e SW-NE (filitos e quartzitos), resultando em células losangulares de rochas carbonatadas com comportamento hidráulico independente, que se interligam através da drenagem superficial. O conjunto destes compartimentos é que constitui o Aquífero Karst propriamente dito (LISBOA, 1997, p 90).

Ou seja, o modelo hidrogeológico que se apresenta pressupõe que os compartimentos possuem blocos de permeabilidade diferenciada uma vez as diferenciações locais e peculiares de carstificação de cada um deles ou de cada uma das “células hidrogeológicas”.

Portanto, apóia-se na existência de estruturas geológicas e na impermeabilidade ou baixa impermeabilidade das rochas que limitam tais células - diabásios, filitos e quartzitos, conforme pôde ser observado quando da elaboração do Plano de Zoneamento do Uso e Ocupação do Solo da Região do Karst na RMC (COMEC, 2002). (FIGURA 12)

Se nessas barreiras de permeabilidade a pressão hidráulica exercida pela acumulação da água for suficiente para fazê-la ascender até a superfície, ocorrem então as surgências ou fontes do aquífero (SANEPAR, 2002, p 118).



**FIGURA 12:** MAPA GEOLÓGICO DA REGIÃO A OESTE DE ALMIRANTE TAMANDARÉ EXIBINDO A COMPARTIMENTAÇÃO DOS METACALCÁRIOS DO AQUIFERO DO KARST (EM AZUL), LIMITADOS NO SENTIDO WSW-ENE PELOS FILITOS E QUARTZITOS DA FORMAÇÃO CAPIRÚ (EM CASTANHO CLARO), E NO SENTIDO SE-NW PELOS DIQUES DE DIABÁSIO OU MICRO-GABRO (EM VERDE ESCURO).

*FONTE:* BASEADO EM COMEC, 2002, P 9-8.

Os trabalhos do Plano de Zoneamento do Uso e Ocupação do Solo da Região do Karst na RMC quantificaram o número destas células na Formação Capiúba, por fotointerpretação, chegando ao número de 483 (quatrocentos e oitenta e três) correspondendo a uma área de 153,87 km<sup>2</sup> (TABELA 3).

Apesar da ausência de maiores dados na oportunidade, tentou-se estabelecer um plano piezométrico para a região, concluindo que há um alto piezométrico maior que 1.000 metros demarcando a divisa entre as bacias subterrâneas do Ribeira e do Iguaçu, a partir de Campo Magro (localidade do Tigre), passando pelo Marmeleiro e Tranqueira (Almirante Tamandaré) e prolongando-se até Fervida (Colombo)

Esta superfície definiu também os baixos piezométricos de Marmeleiro, Tranqueira e Pacatuba em Almirante Tamandaré, Fervida e Várzea do Capivari em Colombo que possivelmente apontam maior permeabilidade nestes locais.



**TABELA 3:** DISTRIBUIÇÃO ÁREA DAS CÉLULAS.

CLASSES DE CÉLULAS (em km <sup>2</sup> )		NÚMERO DE CÉLULAS
De	a	
0,0	0,5	405
0,5	1,0	42
1,0	1,5	18
1,5	2,0	7
2,0	2,5	4
2,5	3,0	1
3,0	3,5	2
3,5	4,0	1
4,0	4,5	1
4,5	5,0	1
5,0	5,5	0
5,5	6,0	0
6,0	6,5	0
6,5	7,0	1
<b>Total</b>		<b>483</b>

FONTE: COMEC, 2002, p 9-11.

Almirante Tamandaré pode ser alimentada por gradientes de 30 m/km (alto piezométrico do Marmeleiro) de direção NW-E, de 9 m/km (alto piezométrico de Tranqueira) de direção N-S e de 10 m/km (alto piezométrico de Boichininga) de direção NE-SW. O menor baixo piezométrico é encontrado na localidade de Pacotuba.

#### 4.1.6.2 Vulnerabilidade à Poluição e Qualidade Hídrica

As zonas de recarga se apresentam como as principais vias de contaminação potencial do aquífero, permitindo maior ou menor passagem dos agentes poluidores.

Dentre as estruturas ou paisagens cársticas de recarga mais comuns encontram-se as dolinas, sumidouros e poljes. As também importantes, porém menos visíveis, encontram-se nas estruturas de falha e fraturas. Nos aquíferos cársticos, a zona insaturada é muito mais eficaz na depuração de cargas poluentes do que a zona saturada, uma vez a atuação dos processos microbiológicos e físico-químicos, ao contrário do que ocorre no sistema de fissuras das rochas calcárias que facilitam a rápida penetração dos poluentes (ASSAD, JORDAN, 1994, p 230).

Estudos realizados pela COMEC, objetivando o Planejamento de Zoneamento do Uso e Ocupação do Solo da Região do Karst da RMC, revelam que a faixa sul dos

metacalcários da Formação Capiu é a que possui maior presença de tais áreas de recarga, visíveis e desprotegidas, comportando-se como um aquífero praticamente aberto, particularmente as grandes células hidrogeológicas das regiões de Colombo e Almirante Tamandaré.

Fritszons et al (2001), estudaram o impacto da contaminação por nitrogênio numa bacia hidrográfica cárstica – microbacia de Fervida em Colombo – PR sob o enfoque da interação ocupação do solo e uso da terra versus feições pedológicas. Levaram em consideração a presença de horizonte B textural, profundidade do solo e relevo atribuindo-lhes pesos e obtendo uma série de valores.

O estudo concluiu que as zonas de maior vulnerabilidade correspondem as que compõem os solo litólicos e hidromórficos sobre calcários e principalmente sob habitações e, as de menor, as Terras Brunas Estruturadas Eutróficas, ocorrentes exclusivamente sobre os diabásios e sob terras agrícolas.

A água subterrânea do Aquífero Karst é nitidamente dependente do seu fluxo e armazenamento em rochas metacalcárias dolomíticas, tratando-se de uma água bicarbonatada calco-magnésiana, com sólidos totais variando entre 130 e 280 mg/l e o ânion bicarbonato entre 100 e 230 mg/l (COMEC, 2002, p 9-22).

Os trabalhos realizados confirmam que os nitratos presentes ainda são relativamente baixos, variando de 2 a 8 mg/l e baixos valores de sílica (< 15 mg/l), com teores de  $\text{CaCO}_3$  entre 150 e 200 mg/l (água levemente dura).

A ausência de nitratos leva supor que tais águas ainda estão isentas de elevadas cargas poluidoras situando-se dentro das especificações da Organização Mundial da Saúde para o consumo humano.

#### 4.1.7 Geotecnia

A Formação Capiu apresenta uma variedade de litotipos que comportam-se diferenciadamente em termos geotécnicos frente à ocupação do solo.

Diversos estudos levados a efeito pela COMEC e MINEROPAR na última década, visando o planejamento urbano e territorial, definem duas unidades geotécnicas para a faixa sul dos metacalcários da Formação Capiu – Unidade DR e

Unidade DT. Correspondem respectivamente a solos residuais sobre rochas carbonáticas e solos transportados sobre rochas carbonáticas em planície cárstica de relevo suave, os quais possuem severas restrições à urbanização, carecendo de estudos do subsolo para a implantação de obras. Correspondem também, como já visto, a áreas de alto potencial hidrogeológico e de recarga do aquífero e, portanto, susceptíveis a contaminações.

Os metacalcários dolomíticos aflorantes da faixa norte, de acordo com tais estudos, merecem os mesmos tipos de restrições, predominando nestas situações a unidade geotécnica DR em relevo comumente ondulado (COMEC, 2002, p. 9-6).

Entre as rochas carbonatadas encontram-se as unidades MP, que correspondem a solos residuais e saprólitos de metapelitos, áreas um pouco mais adequadas à urbanização, mas com restrições, principalmente em relação às declividades, pois processos erosivos podem facilmente se instalar.

A TABELA 4, a seguir, resume as características geotécnicas da Formação Capiru, em decorrência de suas declividades, litologia e arcabouço litoestrutural, materiais inconsolidados que as recobrem e inclinações de vertentes desenvolvidas sobre os terrenos.

**TABELA 4: CARACTERÍSTICAS GEOTÉCNICAS REGIONAIS.**

UNIDADE GEOTÉCNICA	DECLIVIDADE (%)	GEOLOGIA	LOCAL	RECOMENDAÇÕES
<b>A</b>	0-5	Aluviões	Sedimentos de fundo de vale nos rios Conceição, Barigui, Água Comprida(a norte de Fervida), Capivari e outros	Alto potencial hidrogeológico, preservação e proteção de aquíferos superficiais e subterrâneos, suscetíveis a afundamentos cársticos.
<b>DR</b>	0-10	Karst aflorante (pequenas manchas)	Faixa norte dos metadolomitos	Rochas calcárias com solos residuais, com severas restrições e susceptibilidade a afundamentos cársticos
<b>DR</b>	10-20	Karst aflorante (maior parte)	Faixa norte dos metadolomitos	Rochas calcárias com solos residuais, com severas restrições e susceptibilidade a afundamentos cársticos
<b>DT</b>	0-10	Karst encoberto	Faixa sul dos metadolomitos	Rochas calcária com solos transportados / sedimentos com severas restrições e alta susceptibilidade a afundamentos cársticos
<b>DT</b>	10-30	Karst encoberto	Faixa sul dos metadolomitos	Rochas calcária com solos transportados / sedimentos com severas restrições e alta susceptibilidade a afundamentos cársticos
<b>DR</b>	10-30	Karst aflorante	Faixa sul dos metadolomitos	Rochas calcárias com solos residuais, com severas restrições e susceptibilidade a afundamentos cársticos
<b>MP</b>	0-30	Rochas metassedimentares das Formações Capiru e Votuverava	Fm. Capiru em torno e entre os metadolomitos do Karst encoberto; Fm. Votuverava a E e N de Rio Branco do Sul	Rochas calcárias com solos residuais, com severas restrições e susceptibilidade a afundamentos cársticos
<b>QZ</b>	0-30	Quartzitos da Formação Capiru	Cristas quartzíticas com orientações W-ENE, ocasionalmente E-W intercalados nos filitos da Formação Capiru	Rochas quartzíticas. Restrição para ocupação urbana, escavabilidade ruim, susceptibilidade a queda de blocos
<b>DB</b>	0-30	Diques de Diabásio	Ao longo dos diques de diabásio ocorrentes na área com direção N-W-SE	Ocupação urbana com restrições, ocupação rural com técnicas de manejo de solo

FONTE: COMEC, 2002, p 7-14

## 4.2 MEIO BIOLÓGICO

### 4.2.1 Cobertura Vegetal

A área do presente trabalho carece de estudos relativos à cobertura vegetal. Além disto, as florestas originais da RMC foram muito modificadas (exceto nos contrafortes da Serra do Mar) devido a artificialização inerente à região, restando

formações secundárias (capoeiras), pastagens e florestamento de bracatinga (*Mimosa scabrella*).

De acordo com COMEC (2000, p 15), são apresentadas tipologias secundárias típicas de planalto meridional: 1) 2ª e 3ª fase de sucessão secundária (capoeirinha); 2) 4ª fase de sucessão secundária (capoeira) e, 3) 5ª fase de sucessão secundária (capoeirão).

O referido estudo afirma que áreas inicialmente ocupadas por gramíneas, além de pteridófitas, ciperáceas e asteráceas, são posteriormente ocupadas por espécies arbustivas pioneiras (2 a 3 metros) denominadas de capoeirinha – 2ª ou 3ª fase sucessional secundária, a base de *Eupatorium*, *Vernonia* e *Campovassourea* e esporadicamente aroeira (*Schinus terebinthi folius*), pessegueiro-bravo (*Prunus sellowii*) e caroba (*Jacarandá puberula*) que facilitam o aparecimento posterior da capoeira.

Já a 4ª e 5ª fases caracterizam-se por estágios arbóreos médios ou avançados da vegetação secundária (capoeiras e capoeirões) que aparecem após as fases iniciais ou a partir da retirada de elementos de maior porte da floresta.

Nas capoeiras as espécies são geralmente heliófilas de ciclo curto (< 20 anos) e rápido crescimento, formando associações densas e heterogêneas, inclusive com espécies mais exigentes da 4ª fase, tais como o cedro (*Cedrella fissiles*), o cuvata (*Cupania vernalis*) e a guacatunga (*Casearia spp.*). No entanto as mais relevantes são a maria-mole (*Symplocos glanduloso-marginata*), o guamirim (*Myrcia rostrata*), o capororocão (*Myrsine umbellata*), além do carvalho brasileiro (*Roupala brasiliensis*).

O capoeirão possui elementos de 02 (dois) estratos florestais, cujo superior atinge de 10 a 15 metros, com copas mais abertas que possibilitam um ambiente interno mais úmido e, portanto, fundamental para o equilíbrio do ciclo hidrológico – evapotranspiração/balanco hídrico.

Na região as espécies mais comuns são a *Myrcia rostrata*, *Psychotria sessilis*, *Prunus brasiliensis*, *Symplocos glanduloso-maginata*, *Ocotea puberula*, dentre tantas. Em ambientes de Floresta de Araucária (Floresta Ombrófila Mista) associam-se o vassourão brando (*Piptocarpha angustifolia*), principalmente quando o pinheiro do

Paraná está ausente, a canela (*Ocotea pretiosa*), a erva-mate (*Ilex paraguariensis*), a guabiroba (*Campomanesia xantocarpa*) e a paineira (*Chorisia speciosa*).

### 4.3 MEIO ANTRÓPICO

#### 4.3.1 Histórico da RMC <sup>15</sup>

O início da ocupação do território onde hoje assenta-se a RMC deu-se nos séculos XVI e XVII quando os primeiros caminhos venceram a Serra do Mar em direção ao Planalto Curitibano, destes, destacando-se o Caminho do Peabiru, que ia desde São Vicente (SP) até o rio Paraná, atravessando todo o estado.

A busca pelos portugueses por ouro e índios propiciou a formação dos primeiros núcleos nas regiões de Paranaguá e Curitiba a partir do século XVII. Especificamente na RMC, surgiram o Arraial Queimado (Bocaiúva do Sul), Borda do Campo (Atuba, Vilinha, Vila dos Cortes em Curitiba), Arraial Grande (São José dos Pinhais), Barigui e Tidiqüera (Araucária), além do Botiatuva, Campo Magro, Passaúna e Uberaba formando então o povoado de Nossa Senhora da Luz e do Bom Jesus dos Pinhais.

Em 29 de março de 1693 a povoação de Curitiba foi elevada à condição de Vila pelo Capitão-povoador Mateus Martins Leme.

Com a abertura do Caminho das Tropas em 1731, ligando Viamão (RS) a Sorocaba (SP), Curitiba passou a ter melhor comunicação com as províncias do sul e com São Paulo. O transporte de gado e mulas do sul em direção ao estado de São Paulo fez com que várias povoações (pousios e currais) se fixassem dando origem a diversas freguesias e vilas na RMC – Lapa, Campo Largo, Araucária.

Em 1812, Curitiba ascendeu à condição de sede da Comarca de Paranaguá e Curitiba. Em 1838, a Comarca somava os distritos de Paranaguá, Guaratuba, Antonina, Lapa e Castro. Nesta época, o distrito de Curitiba chegava a limitar-se com o distrito de Apiaí (SP) a norte e com o distrito de São Francisco (SC) a sudeste. Outras

---

<sup>15</sup> METRÓPOLIS, em Revista, n 1, 1999.

povoações já a compunham, tais como São José dos Pinhais, Campo Largo, Ferraria e Bacacheri.

Demograficamente, a partir de 1830 começa ocorrer um incremento na população de Curitiba com a chegada dos primeiros imigrantes alemães, sendo que as grandes levas de imigrantes ocorreram somente a partir de 1869 – italianos, poloneses, franceses, suíços, ingleses, sírios e libaneses.

Em 1842, Curitiba e Paranaguá elevam-se à categoria de cidades. Em 29 de agosto de 1853 é criada a Província do Paraná com a sua emancipação político-administrativa de São Paulo, sendo instalada em 19 de dezembro de 1853 por Zacarias de Góes e Vasconcelos. O primeiro ato da Assembléia Legislativa Provincial (15/07/1854) confirmou a cidade de Curitiba como Capital da nova província.

Entre 1870 e 1880, especialmente na administração de Lamenha Lins, a intensa atividade colonizadora estabeleceu numerosos núcleos de agricultura de abastecimento em Curitiba e arredores, definindo bairros e localidades como o do Pilarzinho, Ahú, Mercês, Bacacheri, Santa Cândida, Orleans, Santa Felicidade, Lamenha, Campo Magro, Antonio Prado e São Venâncio (Almirante Tamandaré), Tomás Coelho (Araucária), Murici, Zacarias, Afonso Pena (São José dos Pinhais), Antonio Rebouças, Ferraria, Bateias (Campo Largo). A imigração fez com que a população de Curitiba triplicasse nesta época.

Este aumento demográfico foi decisivo para que determinados locais ganhassem a sua autonomia política – Almirante Tamandaré (1889), Araucária, Piraquara, Colombo (1890), iniciando então os movimentos de acomodações geopolíticas que perduraram até hoje e definiram a atual composição territorial da RMC.

Atualmente a RMC é composta por 26 municípios que ocupam praticamente um terço do Paraná, entre a Serra do Mar (a leste) e a Escarpa Devoniana do São Luiz do Purunã (a oeste) e os estados de São Paulo (a norte) e Santa Catarina (ao sul), abrigando uma população de 2,8 milhões de habitantes aproximadamente.

#### 4.3.2 Evolução da Ocupação Urbana e Territorial

Desde o século XVII a organização do espaço metropolitano deu-se de forma que os municípios vizinhos à Capital orbitassem em seu entorno.

Com a abertura do Caminho de Viamão (1731), determinadas ocupações organizaram-se ao longo do mesmo, servindo de pousio e curral para as criações. Assim surgiu a cidade da Lapa (1769) com o nome original de Santo Antonio da Lapa.

A abertura da Estrada do Mato Grosso, iniciada em 1871, criou um novo vetor de ocupação que se iniciava na Rua das Flores em direção ao Batel (pela rua Emiliano Perneta) e cujo primeiro trecho terminava em Campo Largo (Ferraria). Criava-se um novo eixo de desenvolvimento, oposto a então Estrada da Marinha (atual Av. João Gualberto) primeira ligação com a Estrada da Graciosa e Litoral.

As principais estruturas urbanas da época apoiavam-se nestes caminhos ou em outros que vinham da periferia, onde localizaram-se as colônias de existência autônoma, para o núcleo urbano central de Curitiba, representado principalmente pela Igreja da Ordem e suas imediações.

A cidade de Balsa Nova possuía nesta época uma enorme importância portuária pois os carregamentos de erva-mate para processamento nos moinhos de Curitiba, vindos de Rio Negro/Mafra, União da Vitória/Porto União nela aportavam. Os obstáculos naturais existentes no Rio Iguaçu, como o Salto Caiacanga que materializa aí os limites do Primeiro com o Segundo Planalto Paranaense, atrapalhavam a navegação até a Capital.

Com a construção da Estrada de Ferro Curitiba – Paranaguá (1885) e de seus ramais para o interior, as indústrias de mate, antes dispersas, concentram-se próximos a eles e junto aos Rios Barigui, Ivo e Belém, cujas águas moviam suas rodas de moinho, deixando a navegação do rio Iguaçu de ser importante para este setor.

O início do século XX marcou a Capital pela chegada da eletricidade e consequentemente da iluminação pública (1905) juntamente com o bonde puxado a tração animal e ônibus e veículos movidos a motor.

Isto fez com que a cidade de Curitiba experimentasse a sua primeira proposta de organização do espaço com o Plano Agache (1943) onde o urbanista Alfred Agache aplicava a experiência parisiense de abertura de largos “boulevards” no tecido urbano



(avenidas Visconde de Guarapuava e Sete de Setembro) e um anel periférico que limitaria a mancha urbana (Avenida Nossa Senhora da Luz).

Com o processo de urbanização no Brasil cada vez mais acentuado a partir dos anos 70, foi aprovada a Lei Federal Complementar nº 14 de 1973, pela qual estabeleceram-se as Regiões Metropolitanas de São Paulo, Belo Horizonte, Porto Alegre, Recife, Salvador, Belém, Fortaleza e Curitiba, definindo também que cada uma delas possuiria um Conselho Deliberativo e um Conselho Consultivo criados por lei estadual.

No caso da Região Metropolitana de Curitiba o processo superior decisório ficou assentado sobre o Conselho Deliberativo, responsável dentre tantas funções por promover e aprovar o Plano de Desenvolvimento Integrado da RMC e formular as diretrizes da sua política de desenvolvimento.

A criação de uma entidade pública para o trato das questões metropolitanas de interesse comum aconteceu em 1975, como decorrência da Lei Federal Complementar nº 14/73 através da Lei Estadual nº 6.517 que criou a Coordenação da Região Metropolitana de Curitiba – COMEC.

Consequentemente, em 1978 formulou-se o primeiro Plano de Desenvolvimento Integrado da RMC (PDI-RMC/1978) a partir de diretrizes emanadas da Política Nacional de Desenvolvimento Urbano de então:

- preservação dos mananciais hídricos e outros de caráter ecológico;
- geração de riqueza através da otimização da exploração mineral, agropecuária e desenvolvimento industrial;
- orientação do crescimento urbano e criação de subcentros regionais de forma a estruturar uma rede urbana hierarquizada de serviços e funções urbanas.

A partir destas premissas definiu-se um crescimento urbano orientado para oeste, cujo desenvolvimento industrial suportaria-se com a Cidade Industrial de Curitiba, o Centro Industrial de Araucária e Complexo Petroquímico da Petrobrás, com condições de desenvolvimento também em Campo Largo e São José dos Pinhais. Reservava-se uma área, entre Almirante Tamandaré e Rio Branco do Sul para a industrialização da produção mineral local.

Sob o ponto de vista sócio-econômico, a conjuntura nacional de desemprego e inflação acabou se refletindo sobre as regiões metropolitanas as quais acabaram por receber grandes contingentes populacionais de baixa renda. Some-se a isto, o fato do Paraná, nesta época, mudar radicalmente a sua base agro-econômica fundamentada na cultura do café (altamente empregadora de mão de obra) para culturas mecanizáveis (soja e milho) e mais resistentes às intempéries (geada). Na década de 70 a RMC experimentou então as suas maiores taxas de aumento demográfico quando sua população viu-se praticamente dobrada.

Diante das circunstâncias e em função das perspectivas de investimentos de recursos de agentes financeiros externos (BID e BIRD), em 1987 o PDI-RMC/1978 foi revisto. As propostas de estruturação do espaço metropolitano atendiam então a uma leitura de uma compartimentação em quatro áreas distintas:

- centro expandido – malha urbana central de Curitiba (centro polarizador de múltiplas atividades);
- áreas periféricas resultantes do extravasamento do pólo e onde concentram-se os maiores problemas metropolitanos;
- sedes municipais – pólos centralizadores de primeira instância (PDI-RMC/1978);
- pequenas comunidades urbanas e áreas rurais, relativamente independentes em relação à estrutura urbana da metrópole.

Ao final da década de 80 o planejamento metropolitano passou por uma desestruturação política-administrativa. Somente a partir de 1992, quando da assinatura do Contrato de Empréstimo nº 3.503/BR junto ao Banco Mundial (BIRD) para o desenvolvimento e a implantação do PROSAM – Programa de Saneamento Ambiental da RMC é que se resgatou o papel da COMEC. O PROSAM previa investimentos na ordem de U\$S 250 milhões em recuperação e melhoria das condições ambientais e de saneamento, além de estruturação básica institucional, justamente nas áreas periféricas ao centro expandido (pólo), ou seja, junto à Bacia Hidrográfica do Alto Iguaçu onde também encontram-se os principais mananciais metropolitanos de abastecimento público de água potável.

O PROSAM teve seu melhor desempenho entre os anos de 1995 e 2002, quando cerca de 1.500 famílias foram retiradas da faixa de preservação permanente dos rios Iraí, Palmital, Atuba, Timbu e Iguaçu e reassentadas em loteamentos infra-estruturados em Pinhais, Piraquara, Campina Grande do Sul e São José dos Pinhais. A implantação pelo PROSAM de projetos de controle de cheias e abastecimento do Alto Iguaçu tais como o Canal Paralelo (Canal Extravaso) e lagoa e dique de Proteção da Cidade Jardim (São José dos Pinhais) e Represa do Iraí e de coleta e tratamento de esgotos domésticos deram novos números ao saneamento metropolitano.

No âmbito institucional, o Programa desenvolveu o projeto de Resíduos Sólidos Urbanos e constituiu o Consórcio Intermunicipal para a Gestão de Resíduos Sólidos Urbanos da RMC, constituído formalmente em 2001 com base na Lei Estadual Complementar nº 82/1998 (Lei dos Consórcios Intermunicipais).

O PROSAM financiou ainda estudos que auxiliaram a elaboração de outros documentos legais muito importantes para a gestão sustentável metropolitana; a Lei Estadual nº 12.248/98 que criou o Sistema Integrado de Gestão e Proteção dos Mananciais e a Lei Estadual nº 12.726/99 que instituiu a Política Estadual de Recursos Hídricos.

Por sinal, tais leis foram oportunas no momento em que a RMC integrava seu transporte público de passageiros e se transformava no segundo maior pólo automotivo do Brasil, e, portanto, a sua gestão passava, mais do que nunca, a exigir uma atuação de todos os agentes da sociedade, através da articulação, da regulação e da descentralização.

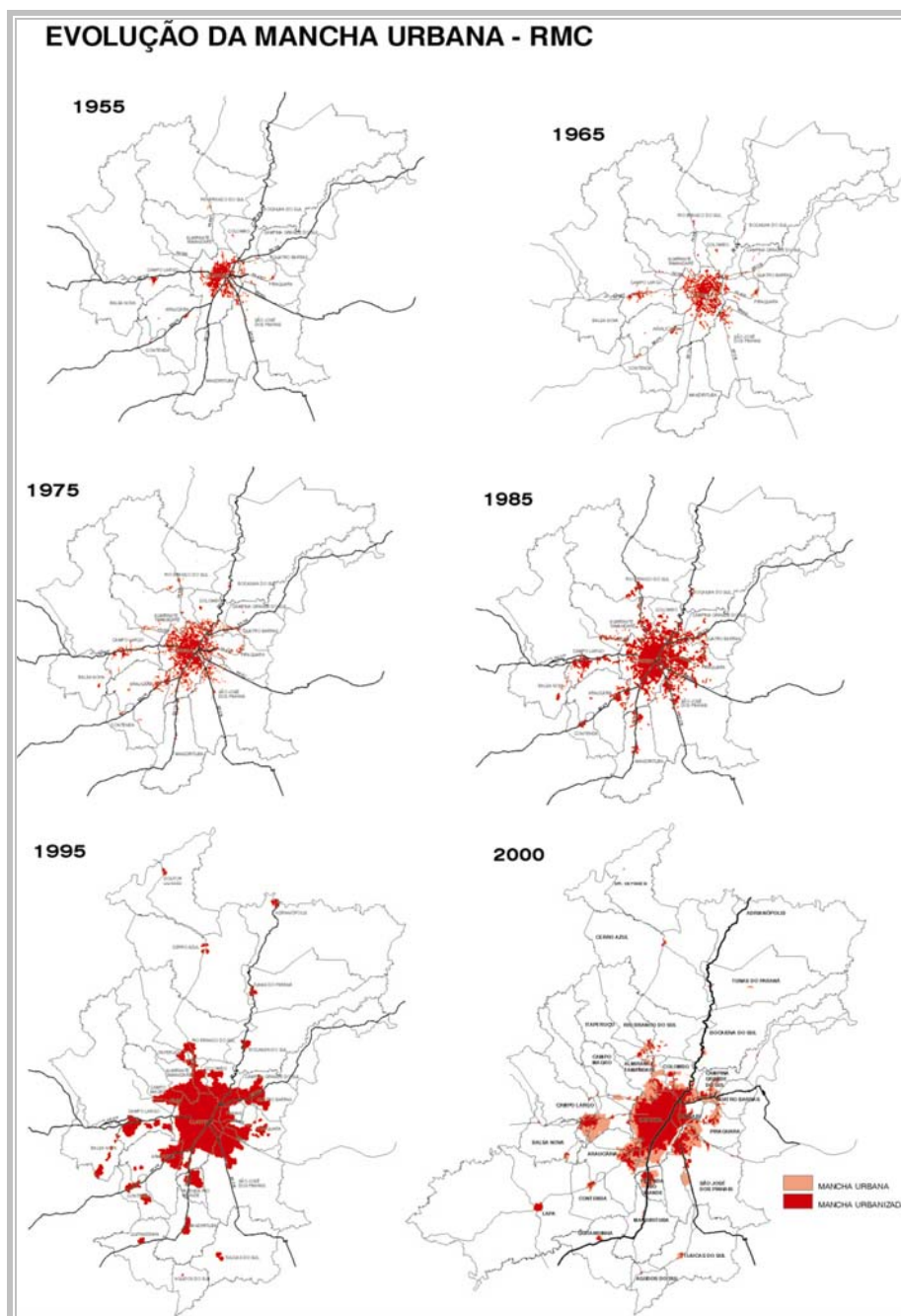
Outro aspecto relevante do novo arcabouço legal é o da oportunidade de se administrar o desenvolvimento e o espaço metropolitano inter-relacionando definitivamente o uso e a ocupação do solo com o uso dos recursos hídricos, com as demandas sociais e com o crescimento dos setores da economia.

Todos estes fatores em discussão, naturalmente determinaram a realização do PDI-RMC/2001, elaborado entre os anos de 2000 e 2002, que buscava a Metrópole Competitiva, Sustentável e Solidária, particularmente com a eliminação das disparidades intra-regionais.

Da leitura espacial levada a efeito pelo PDI-RMC/2001 entendeu-se que a Região Metropolitana de Curitiba é compartimentada por um Núcleo Urbano Central onde encontra-se a malha urbana conurbada e os municípios com forte interação com o pólo-Curitiba, Almirante Tamandaré, Araucária, Campina Grande do Sul, Campo Largo, Colombo, Fazenda Rio Grande, Pinhais, Piraquara, São José dos Pinhais e Quatro Barras, por um Primeiro Anel Metropolitano que compreende municípios não limítrofes à Capital mas que apresentam importante papel no processo de inserção regional – Balsa Nova, Bocaiúva do Sul, Contenda, Itaperuçu, Mandirituba, Rio Branco do Sul e um Segundo Anel Metropolitano, composto por municípios recentemente incorporados, de características rurais ou urbanização incipiente – Agudos do Sul, Cerro Azul, Dr. Ulisses, Lapa, Quitandinha, Tijucas do Sul e Tunas do Paraná.

Após inúmeras consultas aos agentes da sociedade, dentre diversas recomendações destacam-se aquelas com forte apelo à integração metropolitana, em especial voltadas aos temas uso e ocupação do solo, sistema viário, transporte público, recursos hídricos e habitação, utilizando-se para tanto dos mecanismos e instrumentos legais e institucionais já existentes. O PDI-RMC/2001 recomenda ainda, que o crescimento deve ser orientado para a porção sul da RMC, dada as características físicas e naturais regionais.

Estas características físicas e naturais dizem respeito principalmente aos aspectos geológicos e geomorfológicos da porção norte da RMC, onde, dada a sua história, desenvolveram-se núcleos urbanos que se transformaram em cidades (FIGURA Nº 13) – Almirante Tamandaré, Colombo, Bocaiúva do Sul, Rio Branco do Sul, Itaperuçu, Campo Magro e parte de Campo Largo, e que buscaram as condições topográficas mais favoráveis para tanto, ou seja, relevos planos sobre rochas carbonáticas – ambiente cárstico, inseridos num contexto regional de relevo enérgico.



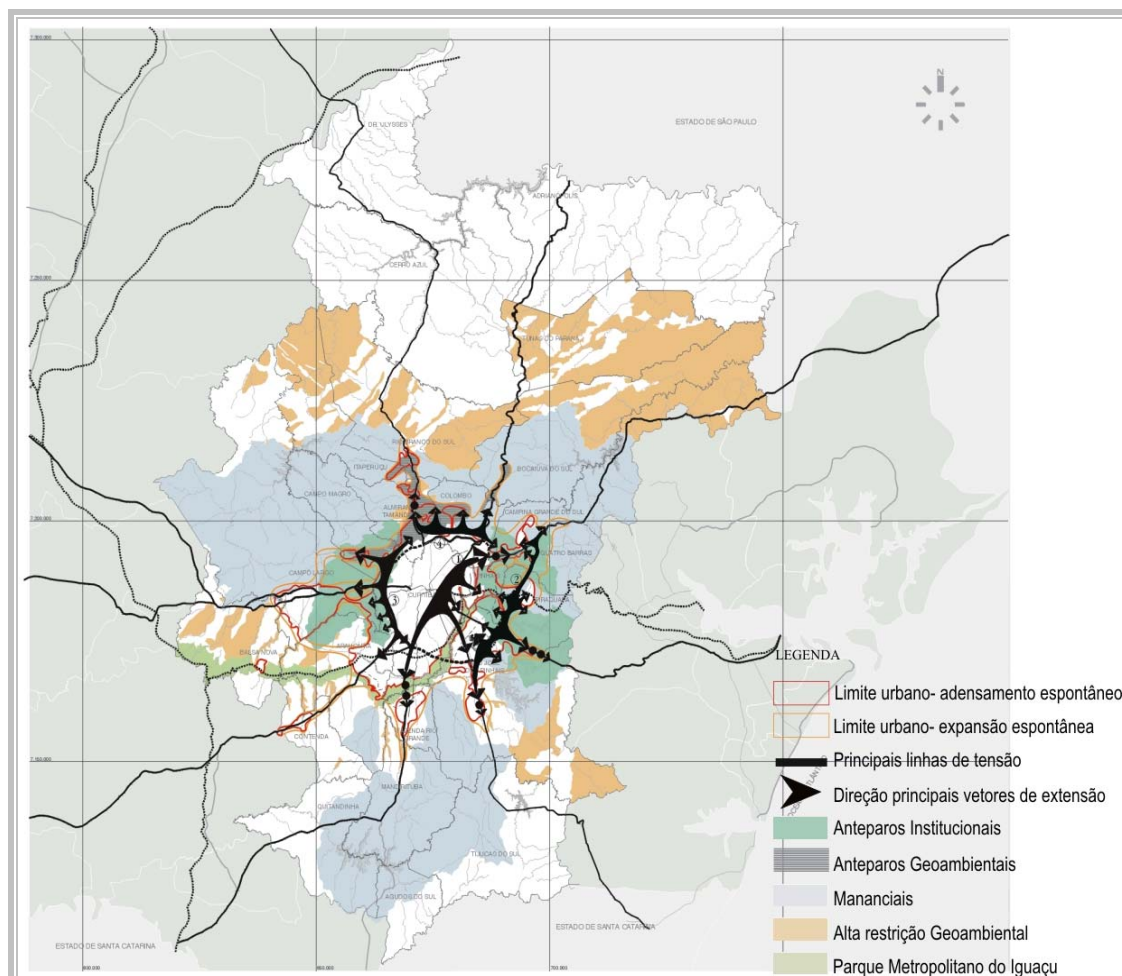
**FIGURA 13:** EVOLUÇÃO DA MANCHA URBANA DA RMC.

*FONTE:* REVISTA METRÓPOLIS

#### 4.3.3 Vetores e Tendências de Ocupação Urbana e Territorial na Região do Karst.

O PDI-RMC (2001, p 28) aponta como principais vetores para a expansão urbana metropolitana os seguintes vetores: 1) BR 476 (antiga 116) no trecho que corta o NUC – Núcleo Urbano Central da RMC; 2) Contornos viários da RMC (Norte, Leste, Oeste); 3) Zonas conurbadas entre Curitiba, São José dos Pinhais e Fazenda Rio

Grande; 4) porção norte do NUC - Núcleo Urbano Central, particularmente as expansões contíguas entre Curitiba e Almirante Tamandaré (FIGURA 14).



**FIGURA 14: PRINCIPAIS TENDÊNCIAS URBANAS NO ADENSAMENTO E EXPANSÃO NA RMC.**  
**FONTE: PDI/RMC, 2001**

Os bairros conurbados de Curitiba com Almirante Tamandaré e Colombo ainda apresentam altas taxas de crescimento demográfico, próximas a 5% a.a. (COMEC, 2002, p 13-3), o que acarreta pressões para sobre as zonas carstificadas. O mesmo acontece com Campo Magro cuja sede urbana encontra-se integralmente sobre terrenos carstificados, assim como Itaperuçu e Rio Branco do Sul, este último com baixas taxas de crescimento populacional (TABELA 05).

Fisicamente as tendências de adensamento acompanham comumente as vias de acesso e circulação dos municípios, as regiões mais aplainadas e infra-estruturadas – transporte, serviços, etc.

**TABELA 5:** POPULAÇÃO E TAXA DE CRESCIMENTO DOS MUNICÍPIOS LINDEIROS A CURITIBA DA REGIÃO DO KARST/RMC.

MUNICÍPIO	POPULAÇÃO 2000			Taxa de crescimento da população (% a.a.)			
	Total	Urbana	Rural	Total		Urbana	Rural
				1980/1991	1991/2000	1991/2000	1991/2000
Alm. Tamandaré	88.277	84.755	3.522	4,25	5,66	5,80	2,89
Bocaiúva do Sul	9.050	3.562	5.488	-3,92	1,68	4,19	0,33
Campo Largo	92.782	77.223	15.559	2,57	2,80	4,12	-2,00
Campo Magro	20.409	2.501	17.908	0	5,99	-11,97	17,21
Colombo	183.329	174.962	8.367	5,87	5,09	5,31	1,24
Curitiba	1.587.315	1.587.315	0	2,29	2,13	2,13	0
Itaperuçu	19.344	16.234	3.110	0	6,83	14,80	-7,09
Rio Branco do Sul	29.341	20.049	9.292	-1,28	0,70	0,62	0,89

*FONTES:* IBGE, 2000; IPARDES - TABULAÇÕES ESPECIAIS, 2000

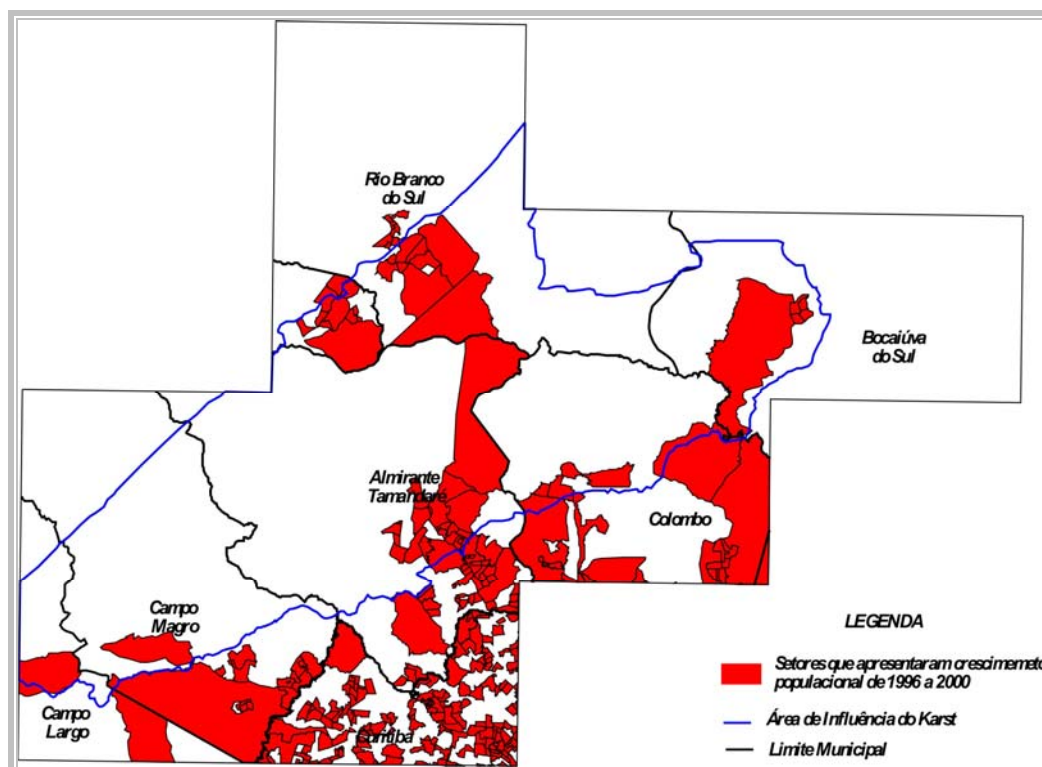
Logo o crescimento de Campo Magro é impulsionado pela Estrada do Cerne (PR-090) que caracteriza-se por ser um prolongamento natural da Avenida Manoel Ribas em Curitiba. Este eixo adentra em Campo Largo, na localidade de Bateias.

No caso de Colombo existem 02 (dois) importantes eixos viários indutores. Rodovia da Uva (PR-417) a partir do Bairro de Santa Cândida em Curitiba e Estrada da Ribeira, a partir do Bairro do Atuba também em Curitiba. A Estrada da Ribeira estende-se como vetor até Bocaiúva do Sul.

Além destes, Colombo apresenta um vetor interno, de crescimento intramunicipal, entre a sede urbana histórica e a localidade da Fervida, região totalmente carstificada.

Para Almirante Tamandaré destacam-se o eixo representado pela Rodovia dos Minérios (PR 092) prolongamento da Rua Mateus Leme em Curitiba, indutor também do crescimento em direção a Rio Branco do Sul e, principalmente o prolongamento da Avenida Anita Garibaldi em direção ao Bairro da Cachoeira, em cujo entorno é que concentram-se os maiores adensamentos populacionais do município.

A FIGURA 15, ilustra a definição destes crescimentos demográficos na região do Karst ao longo dos eixos viários, confirmando que os mesmos representam a principal vetorização de ocupação do solo.



**FIGURA 15:** CRESCIMENTO POPULACIONAL 1996 – 2000

FONTE: IBGE, 1996 E 2000

A tipologia do uso da terra nestas circunstâncias passou a ser definida a partir do fim do Século XIX com o estabelecimento de colônias agrícolas. Ao final dos anos 50, com a exploração industrial das reservas de calcário, a região passa por um processo de transformação, inclusive de perfil empresarial e de mão de obra. (cal, cimento, corretivo, etc). Concomitantemente a região experimenta o processo de urbanização (áreas urbanas e sub-urbanas) e crescimento populacional.

Mesmo assim a região mantém ainda determinada atividade agrícola, silvicultural e pastoral.

A criação animal é voltada para o consumo da família – ovinos, gado de leite, galinhas e suínos, podendo representar (conforme a escala de produção) focos de contaminação e poluição de aquíferos (SANEPAR, 2002, p 211).

A agricultura desenvolve-se a base de culturas de milho, feijão, batata, horticultura (orgânica e inorgânica) e pequenas viticulturas para produção de vinho artesanal. A água para irrigação é pouca utilizada, ocorrendo com mais frequência no município de Colombo, inclusive com desenvolvimento da hidroponia.



A silvicultura é representada pela bracatinga e em escala menor por reflorestamentos de pinus e eucaliptos.

De acordo com COMEC (2002, p 17) a bracatinga garante a renda fundamental do agricultor da região (70% de renda líquida) e representa um sistema ecologicamente mais adequado em relação às espécies exóticas pois apresentam variado sub-bosque com espécies típicas da 4ª fase de sucessão secundária (capoeira), principalmente a partir do 5º ano de vida das florestas.

#### 4.3.4 Conflitos Instalados pela Ocupação Urbana e Territorial na Região do Karst.

A paisagem natural da região do karst fez com que as porções mais rebaixadas do relevo fossem ocupadas e usadas para diversos fins e por serem áreas carstificadas – frágeis geotecnica e permeáveis, são sujeitas a subsidências, colapsos e absorção de variados níveis de poluição. Esta situação é agravada com a ocupação de encostas e margens de rios e drenagens e atividades minerárias sobre o patrimônio espeleológico.

Os conflitos podem então ser assim discriminados:

a) Relacionados à exploração de água subterrânea:

A exploração de água subterrânea acarretou, de forma aguda no seu início, uma redução na oferta da água superficial, particularmente em Colombo (Fervida), provocando o esgotamento de nascentes em propriedades rurais com perda da umidade do solo em situações de estiagem, além de subsidências e recalques de terrenos que causaram rachaduras em edificações próximas aos poços.

Tal situação repetiu-se na sede urbana de Almirante Tamandaré, junto à foz do rio Pacatuba, no seu encontro com o rio Barigui, onde casas e até mesmo uma escola municipal encontram-se interditadas para uso.

b) Relacionados ao uso e ocupação do solo urbano:

A intensidade de artificialização das áreas urbanas está intimamente relacionada ao padrão de ocupação (expansão e ocupações irregulares) e a infra-estrutura instalada, em especial a de saneamento.

A área do karst na Bacia do Alto Iguaçu na RMC, apresenta impactos decorrentes das mais variadas atividades urbanas – postos de gasolina, indústrias, transporte de cargas, mas as principais causas dizem respeito à ausência de esgotamento doméstico e tratamento, disposição inadequada de resíduos sólidos e cemitérios localizados (centenariamente) em locais impróprios. Para exemplificar, prevê-se que Almirante Tamandaré terá sua população atendida em apenas 10% de coleta e tratamento de esgoto até 2015, e isto graças a obras do PARANASAN – Programa de Saneamento do Governo do Estado (SANEPAR, 2002, p 14).

Outro conflito derivado da urbanização, são as ocupações às margens dos rios e drenos, sujeitas a enchentes e inundações e as ocupações em encostas sujeitas a processos de escorregamento.

c) Relacionados às atividades minerárias:

A extração de bens minerais não metálicos (calcário) vem destruindo áreas de recargas e de surgências do aquífero subterrâneo, além de provocar deslocamentos do solo e do sub-solo em função dos processos de lavra a céu aberto com uso de explosivos.

Também são responsáveis pela alteração do perfil topográfico e da paisagem da região, bem como do patrimônio espeleológico.

É comum, ao redor dos empreendimentos de mineração, a constituição de núcleos habitacionais os quais aumentam localmente o volume de resíduos gerados e de efluentes líquidos domésticos lançados ao meio ambiente sem qualquer tratamento.

d) Relacionados ao uso e ocupação do solo rural:

As atividades agrícolas representam risco ao meio ambiente pelo uso exagerado e sem controle de agroquímicos, sendo o caso da bataticultura em Campo Magro e a hortifruticultura em Colombo e Almirante Tamandaré.

A pecuária, principalmente a suinocultura, apesar de menor escala, vem também representar risco à qualidade hídrica superficial e subterrânea na região do Karst.

Parte da irrigação até o momento é feita de forma empírica e não mensurada pelo Poder Público, além de concorrer com o abastecimento público, também contribui para o secamento de fontes e até mesmo o afundamento dos terrenos cársticos quando

utilizada a água subterrânea. O excesso de água nas culturas, em irrigações não controladas, leva também a um emprego maior de agroquímicos para o combate das pragas e, conseqüentemente, aporta ao meio maior carga poluidora.

Por outro lado, toda a área rural assentada sobre terrenos cársticos na RMC vem sofrendo pressões pela proximidade com a ocupação urbana, gerando competições de espaços e especulações imobiliárias.

A COMEC - Coordenação da Região Metropolitana de Curitiba, em seu Plano de Zoneamento de Uso e Ocupação do Solo da Região do Karst na RMC (2002, p 20-11), elaborou uma Matriz de Influência de Conflitos na Área do Karst, reproduzida na TABELA 6, a seguir:

**TABELA 6: MATRIZ INFLUÊNCIA DE CONFLITOS NA ÁREA DO KARST**

	<b>Aspectos Naturais</b>	<b>Exploração do Aquífero</b>	<b>Uso e Ocupação do Solo Urbano</b>	<b>Atividades Mineradoras</b>	<b>Uso e Ocupação do Solo Rural</b>	<b>Somatória Ativa (<math>\Sigma A</math>)</b>
<b>Aspectos Naturais</b>	-	3	1	3	1	8
<b>Exploração do Aquífero</b>	2	-	2	1	3	8
<b>Uso e Ocupação do Solo Urbano</b>	3	3	-	2	3	11
<b>Atividades Mineradoras</b>	3	3	1	-	1	8
<b>Uso e Ocupação do Solo Rural</b>	2	3	1	1	-	7
<b>Somatória Passiva (<math>\Sigma P</math>)</b>	10	12	5	7	9	-

OBSERVAÇÃO: Valores foram pontuados de 0 (sem influência) a 3 (máxima influência), resultado da leitura espacial da áreas e de acordo com a natureza deste influência – passiva ou ativa.

FONTE: COMEC, 2002, p 20-11/12

Valores elevados para a somatória da natureza ativa significa que o fator exerce grande influência sobre os demais. Valores altos para a somatória de natureza passiva significa que o fator é fortemente influenciado pelos demais.

Da análise da matriz é possível perceber que a exploração do aquífero é muito influenciada pelos demais fatores - aspectos naturais, uso e ocupação do solo urbano e rural e atividades minerárias, enquanto o uso e a ocupação urbana exerce fortemente sua influência.

## 5 METODOLOGIA

### 5.1 INTER-RELAÇÃO E PROCESSAMENTO DE INFORMAÇÕES

O presente estudo inter-relacionou e processou as diversas informações geradas por diferentes autores que objetivaram variados fins em relação à região do Karst da RMC, processando-as sob a premissa de que o meio físico condiciona as formas de ocupação do solo e conseqüentemente modula o uso do aquífero subterrâneo e sua vulnerabilidade ambiental e geotécnica.

Sendo assim, os dados gerados e os atributos do meio físico foram cotejados inicialmente entre si – geologia, geomorfologia e declividades e, posteriormente, com os da ocupação do solo.

Ao se sobrepor as informações referentes a hidrogeologia da região tais como, zonas de recarga, variações climáticas e hidrostáticas no interior do substrato, variações de pressão e fluxo hidro-subterrâneo percebe-se que os mesmos são os principais agentes de deflagração e evolução dos rápidos afundamentos dos terrenos calcários.

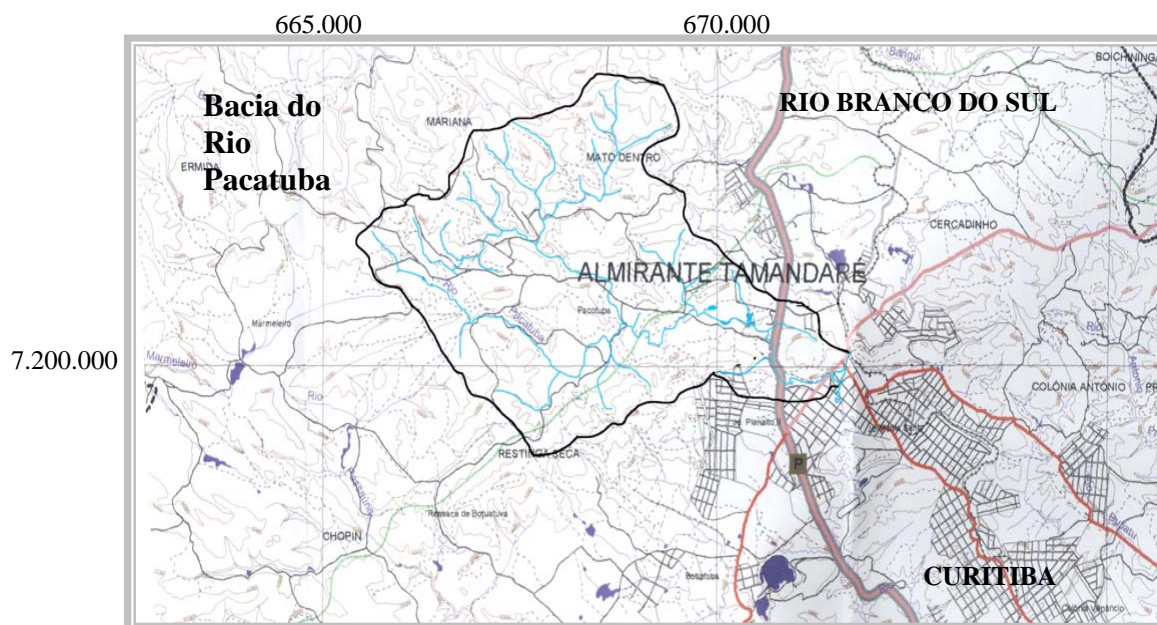
Ao mesmo tempo em que as zonas de recarga do aquífero – dolinas, poljes, etc asseguram a manutenção deste, são responsáveis diretamente pela sua fragilidade geotécnica além da fragilidade ambiental, pois representam entradas, a partir das precipitações pluviométricas, de cargas poluidoras.

Em se considerando a extensão da Formação Capiu ( $1.000 \text{ km}^2$ ) e a área referente às rochas carbonatadas ( $187 \text{ km}^2$ ), para efeitos de racionalização dos trabalhos e na busca de melhores resultados optou-se pela escolha de uma área-alvo que pudesse ser melhor estudada, sendo escolhida então a Bacia Hidrográfica do Rio Pacatuba, em Almirante Tamandaré.

### 5.2 ESTABELECIMENTO DE ÁREA-ALVO

A Bacia Hidrográfica do Rio Pacatuba é uma sub-bacia da margem direita da Bacia Hidrográfica do Rio Barigui.

Possui área de 1.329,78 ha e seu acesso se dá pela PR 092 (Rodovia dos Minérios), a 18 km de Curitiba, quando então, toma-se à esquerda, rumo oeste, em direção à localidade de Marmeleiro por estrada secundária asfaltada, ou à direita, por vias urbanas em direção ao centro de Almirante Tamandaré. O seu eixo principal tem pouco mais de 8 km de extensão, sendo que a sua foz situa-se em meio à sede do município, quando encontra-se com o Rio Barigui (FIGURA 16).



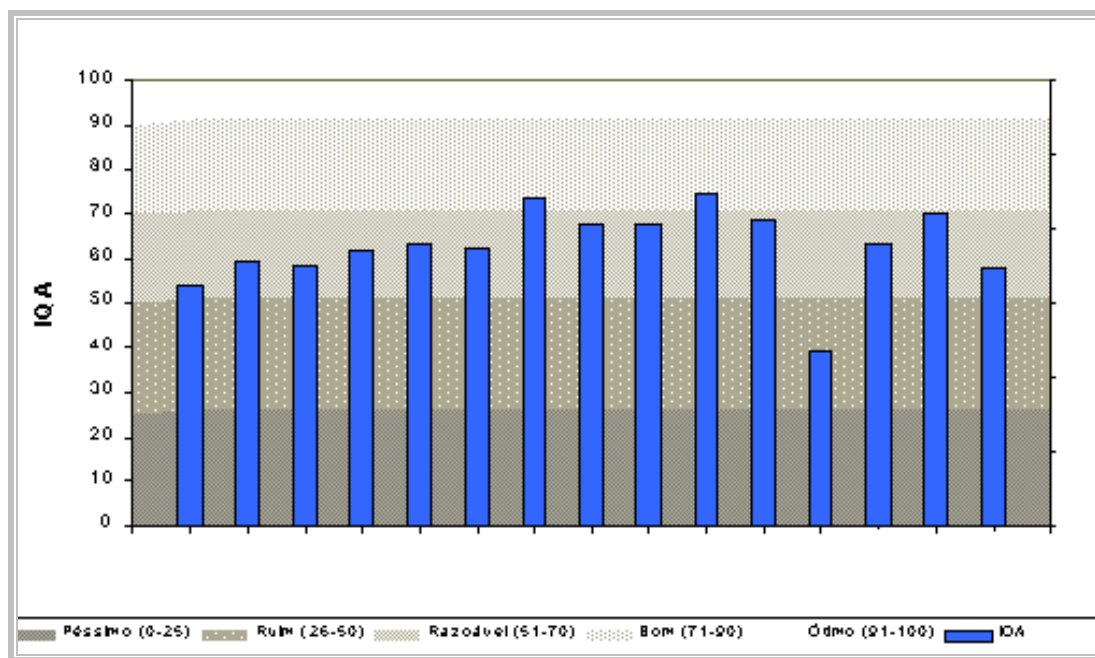
**FIGURA 16:** LOCALIZAÇÃO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PACATUBA  
 FONTE: LIMA, 2004.

A escolha desta bacia se deu em função da sua diversidade em termos de tipologia de ocupação – urbana, rural, turística, etc, e suas peculiaridades quanto ao substrato rochoso (carstificação) e características geomorfológicas e geológicas.

Apesar da diversidade de ocupações e das atividades constatadas em toda a Bacia Hidrográfica do Rio Barigui da qual a Bacia do Pacatuba faz parte, fato relevante é o de que o IQA – Índice de Qualidade da Água monitorado na Estação 65019520-A157- Boichininga (latitude 25°17'12" e longitude 49°17'12") se mostra quase sempre razoável (TABELAS 7 e 8). Significa dizer que somente após o rio percorrer terrenos mais densamente habitados, a partir da conurbação Almirante Tamandaré – Curitiba, até a sua foz, é que a situação agrava-se tornando a bacia em Classe 3 ou mesmo Classe 4 (CONAMA 20/86).

Logo, os formadores da Bacia do Barigui, à montante desta situação, possuem qualidade hídrica que permite o aproveitamento para fins de abastecimento público de água potável.

**TABELA 7: IQA DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO BARIGUI – ESTAÇÃO A 157 - BOICHINIGA**



Fonte: SUDERHSA, 2004

**TABELA 8: DADOS ÍNDICES DE QUALIADE DA ÁGUA – ESTAÇÃO BOICHININGA/RIO BARIGUI**

Data	Hora	OD (mg/L)	COLI-FE (NMP/100mL)	pH	DBO (mg/L)	NIT-TOT (mg/L N)	FOSF-TOT (mg/L P)	TURB (NTU)	SOL_TOT (mg/L)	TEMP (°C)	IQA	COLI_TOT (NMP/100mL)	DQO (mg/L)	CONDUT (µS/cm)	NIT KJEL (mg/L N)	TEMP AR (°C)
26/10/93		9,10	50.000	8,3	2,00	0,89	0,062	43,0	178	18	54	80.000	9,0	228	0,41	18
14/04/94		8,30	20.000	7,1	1,00	1,06	0,054	31,0	118	18	60	20.000	7,0	251	0,34	20
26/10/94		7,70	11.000	8,3	2,00	1,42	0,082	42,0	173	19	58	90.000	7,0	257	0,94	21
09/04/96		8,40	7.000	8,3	3,00	0,65	0,278	6,5	196	19	62	90.000	8,0	225	0,08	22
10/07/96		8,90	5.000	8,1	4,00	0,85	0,023	14,0	201	15	63	13.000	13,0	251	0,23	17
15/10/96		8,60	2.800	8,2	5,00	1,48	0,136	25,0	187	17	62	8.000	8,0	242	1,26	14
28/04/97		8,90	900	8,0	1,00	0,71	0,029	2,4	209	16	74	160.000	6,0	288	0,13	21
05/08/97		8,60	3.000	7,1	2,00	0,78	0,052	9,0	180	14	67	11.000	9,0	278	0,22	10
09/12/97		9,20	1.700	8,4	2,00	0,72	0,083	9,0	192	22	68	30.000	6,0	268	0,16	23
12/05/98		9,20	700	8,2	1,00	0,68	0,015	4,0	160	15	74	17.000	5,0	265	0,04	17
13/07/00	9:30:00 AM	9,90	3.000	8,2	1,00	0,77	0,033	5,0	21	9	69	50.000	5,0	251	0,22	5
26/07/01	10:45:00 AM	8,60	130.000	8,1	3,20	1,69	0,182	150,0	420	16	39	240.000	17,0	178	1,20	21
14/09/01	10:25:00 AM	8,60	5.000	8,1	2,60	0,90	0,069	30,0	99	17	63	110.000	7,6	172,4	0,32	17
08/11/01	9:00:00 AM	7,30	1.700	7,9	2,00	0,44	0,037	8,5	45	21	70	17.000	3,5	255	0,07	26
02/04/02	10:30:00 AM	7,10	30.000	8,5	2,00	0,69	0,032	10,0	33	22	58	50.000	4,8	268	0,15	22

Valores do IQA: Péssimo (0-25) - Ruim (26-50) - Razoável (51-70) - Bom (71-90) - Ótimo (91-100)

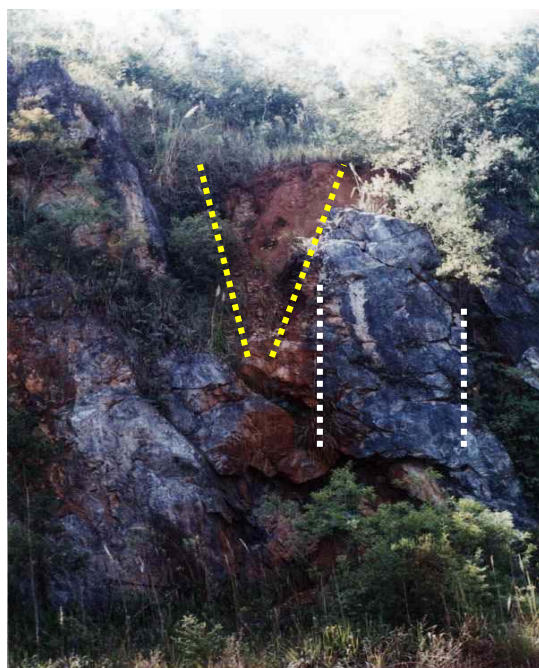
● Excede limite da classe

● Valores estimados

Fonte: SUDERHSA, DADOS INTERNOS

### 5.3 OBSERVAÇÕES DE CAMPO

A Bacia Hidrográfica do Rio Pacatuba assenta-se exclusivamente sobre rochas da Formação Capiru – Grupo Açungui, entrecortadas por intrusivas básicas (Juro-Cretáceo) e encobertas por sedimentos aluvionares (Holocênicos) muito localizados e restritos a sua calha fluvial. Os metacalcários da Formação Capiru (FIGURA 17) posicionam-se em espessos pacotes em SW-NE nas porções mais arrasadas do relevo, enquanto os metapelitos ocupam as meias encostas e os quartzitos os espigões (MAPA 01)



**FIGURA 17:** PEDREIRA DE ROCHA CALCÁRIA ABANDONADA. VISÍVEL AO CENTRO O CONE DE DETRITOS E A TORRE FORMADA À DIREITA. FEIÇÃO CARACTERÍSTICA DO RELEVO CÁRSTICO QUANDO O CALCÁRIO É AFLORANTE. PEDREIRA LOCALIZADA NA PORÇÃO SW DA ÁREA

*FONTE:* LIMA E POLIDORO, 2004

Os diques de diabásio, representados por corpos de não mais do que 100 metros de espessura, possuem direção geral de N50 – 60W e dependendo da resistência da encaixante, seguram altos topográficos (encaixantes carbonatadas) ou baixos topográficos (encaixantes filitos e quartzitos).



Quanto a tectônica local, as rochas proterozóicas foram afetadas ductilmente por dobramentos e redobramentos intensos originando isoclinais fechadas definidas pela tectônica de empurrão do Grupo Açungui (1ª e 2ª fase de deformação) normalmente com xistosidades  $S_1 // S_0$  em N40E e caimento para SE ou NW.

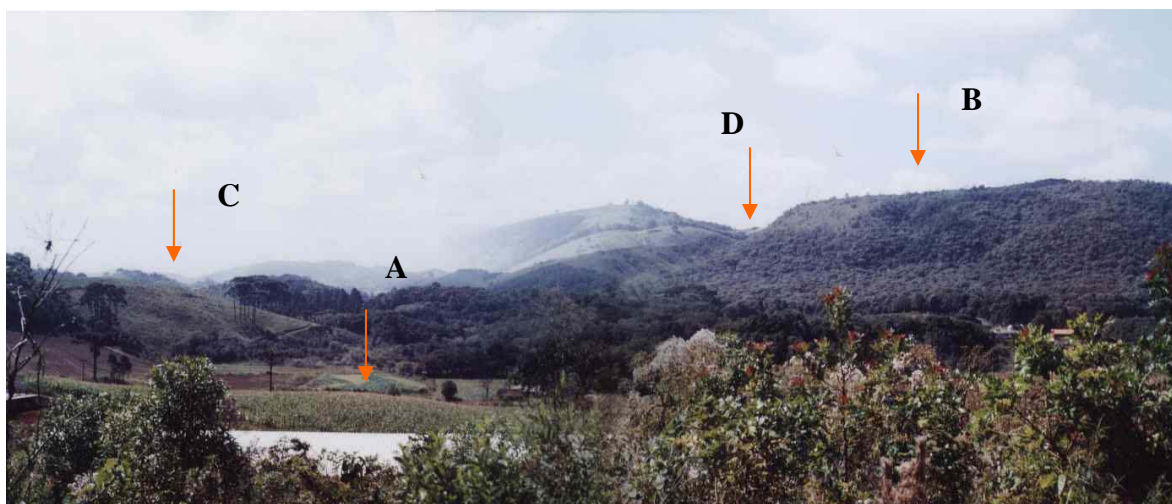
**MAPA 1:GEOLOGIA E HIDROGEOLOGIA**



As rochas pelíticas apresentam lineamentos que acompanham a direção geral de cisalhamento (3ª fase de deformação), ocorrendo também um falhamento transcorrente de direção quase em E-W e rejeito de falha de aproximadamente 600 metros.

O pacote rochoso central na área de pesquisa também apresenta dobramento em anticlinal invertido e eixo inclinado com caimento para SW. Neste pacote o contato entre as metacarbonatadas e as metapelíticas é configurado por nítidos falhamentos de cavalgamento.

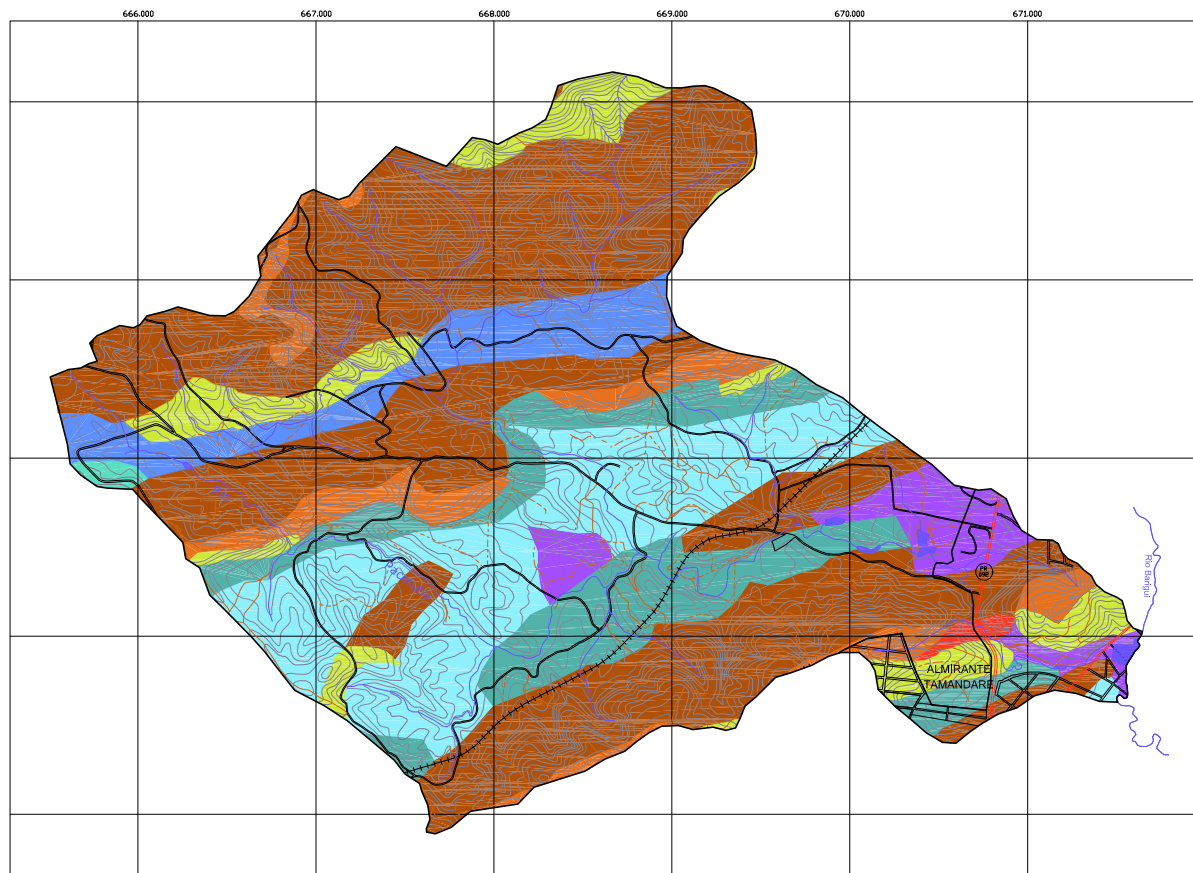
A organização geomorfológica da área (MAPA 02) mostra que as porções superiores correspondem aos substratos filíticos ou quartzíticos cujas drenagens se dirigem às depressões mais amplas formadas por rochas calcárias, orientando faixas em ENE-WSW, sendo que os quartzitos marcam topos alinhados e de forte ruptura do relevo com aparecimento de topos alinhados (FIGURA 18).



**FIGURA 18:** VISTA GERAL DA BACIA DO RIO PACATUBA. NO PRIMEIRO PLANO OBSERVA-SE A TOPOGRAFIA PLANA, COM A PRESENÇA DOS CALCÁRIOS E UMA DOLINA COM ÁGUA (A). NESTES MESMOS TERRENOS A PRÁTICA DA AGRICULTURA É USUAL. À DIREITA, AS PARTES MAIS ELEVADAS DO TERRENO CORRESPONDEM ÀS ROCHAS FILÍTICAS E QUARTZITOS FORMANDO AS CRISTAS (B). NO SENTIDO DIAGONAL É VISÍVEL UM DIQUE DE DIABÁSIO QUE, NO CALCÁRIO FORMA UM RELEVO ELEVADO (C) E NOS FILITOS UM VALE (D).

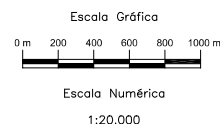
*FONTE:* LIMA E POLIDORO, 2004

**MAPA 2: COMPARTIMENTAÇÃO GEOMORFOLÓGICA**



# CONVENÇÕES CARTOGRÁFICAS

- Rede hidrográfica
- Lagos
- Limite do Bacia do Rio Pacatuba
- Rodovia estadual
- Arruamento/ estradas municipais
- Caminhos
- Ferrovia projetada
- Curva de nível mestra
- Curva de nível intermediária



## LEGENDA

UNIDADES GEOMORFOLÓGICAS	DESCRIÇÃO	RELAÇÃO
Alta vertentes e Ombreiras	Filto e quartzitos subordinados	Elevações locais e intrínsecas cratéricas E-W, ENE-SW
Vertentes íngremes S/SE	Metacalcários dolomíticos	Topocêntricas, vertentes localizadas fronteiras e margens de conglômerados
Morretes	Metacalcários dolomíticos	Vertentes convexas e múltiplas orientadas segundo o trend regional
Baixas vertentes	Metacalcários dolomíticos	Local íngreme com muitas falhas de fenda
Vertentes laterais	Metacalcários dolomíticos	Suave ondulado
Planatos	Metacalcários dolomíticos	Encostas íngremes, com escarpamento de barreiras
Relevo lateral	Metacalcários dolomíticos	Colinas cónicas com doliformes uniaxiais
Morretes	Metacalcários dolomíticos	Fundo de vale com denegação aberta e forte coratificação
Pojais	Metacalcários dolomíticos	

— Limite do perímetro urbano de Almirante Tamandaré



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ  
SETOR DE CIÊNCIAS DA TERRA  
Departamento de Geologia  
Curso de Mestrado em Geologia Ambiental

Dissertação: KARST NA REGIÃO METROPOLITANA DE CURITIBA

ASPECTOS GEOLÓGICOS PARA A GESTÃO DO SOLO E USO DO AQUIFERO SUBTERRÂNEO

Tema:

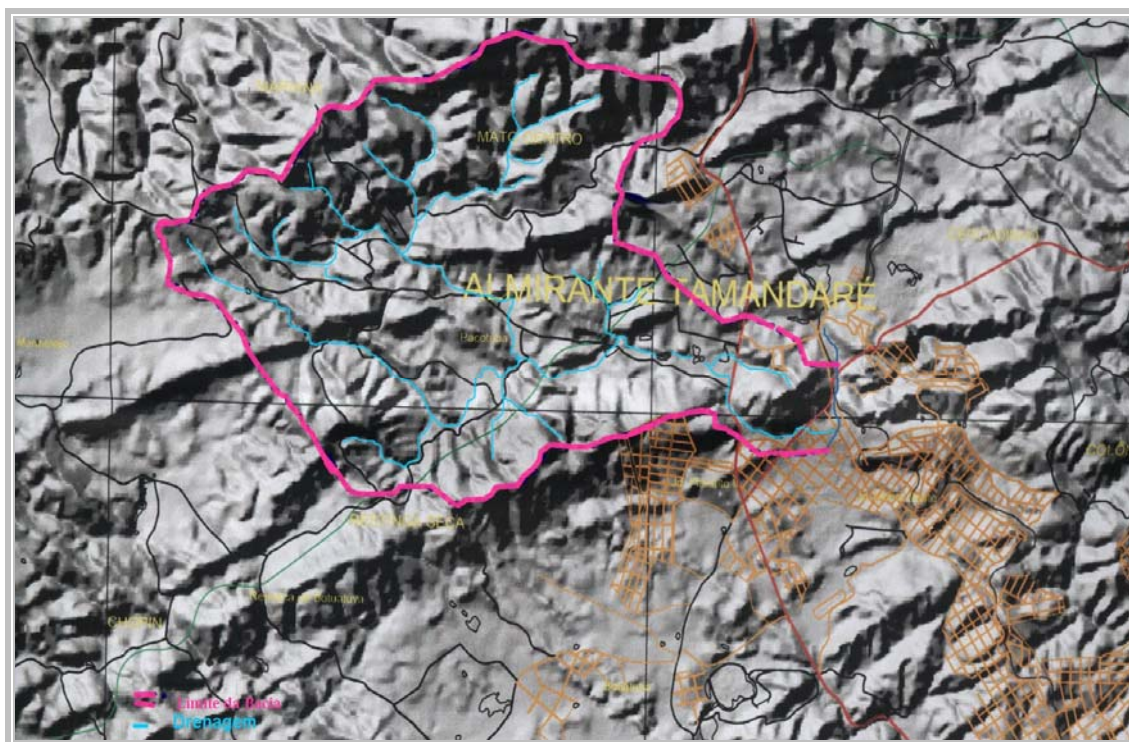
COMPARTIMENTAÇÃO GEOMORFOLÓGICA

Aluno: Gil Fernando Bueno Polidoro  
Escala: 1:20.000  
Data: 2005

Orientador: Prof. Dr. Luiz Eduardo Mantovani



O contexto morfológico condiciona uma compartimentação de padrão reticulado losangular com relevo positivo linear nas direções NW-SE e NE-SW, modificando-se para um relevo negativo nas suas áreas interiores, repetindo-se de maneira homogênea e constante correspondendo ao padrão de evolução do karst e conseqüentemente ao seu modelo hidrogeológico (FIGURA 19).



**FIGURA 19: MODELO DIGITAL DA BACIA DO RIO PACATUBA**  
**FONTE: COMEC (2002)**

Cada losango nitidamente constitui uma unidade com características similares às demais, porém com compartimentos próprios do ponto de vista hídrico.

Em comum entre os losangos é o fato de que as redes de drenagem sobre rochas filíticas se comportam com padrão arborescente em densidade média, enquanto que nas massas carbonáticas com padrão subdentrítico e densidade reduzida.

Ao todo na área de estudo são 21 (vinte e uma) células hidrogeológicas cujos limites de permeabilidade são controlados pelos diques de diabásio (NW-SE) e pelas rochas metapelíticas (NE-SW) (MAPA 01), como pequenos blocos estruturais.

As áreas circunscritas (mármore) aparentemente não se interconectam hidráulicamente e constituem-se nas zonas de maior potencial hidrogeológico.

Junto à foz do rio Pacatuba é possível observar uma planície aluvionar mais ampla e já urbanizada pela sede do município de Almirante Tamandaré.

Neste contexto natural, além da urbanização que ocupa parte do baixo rio Pacatuba, ocorrem atividades primárias (horticultura, extração mineral – calcário), secundárias (beneficiamento mineral) e terciárias (fornecimento de combustíveis, turismo e lazer) em toda a bacia (MAPA 03) e muitas vezes com grande potencial de poluição e sob risco geotécnico dada a carstificação dos terrenos (FIGURAS 20, 21, 22, 23, 24).



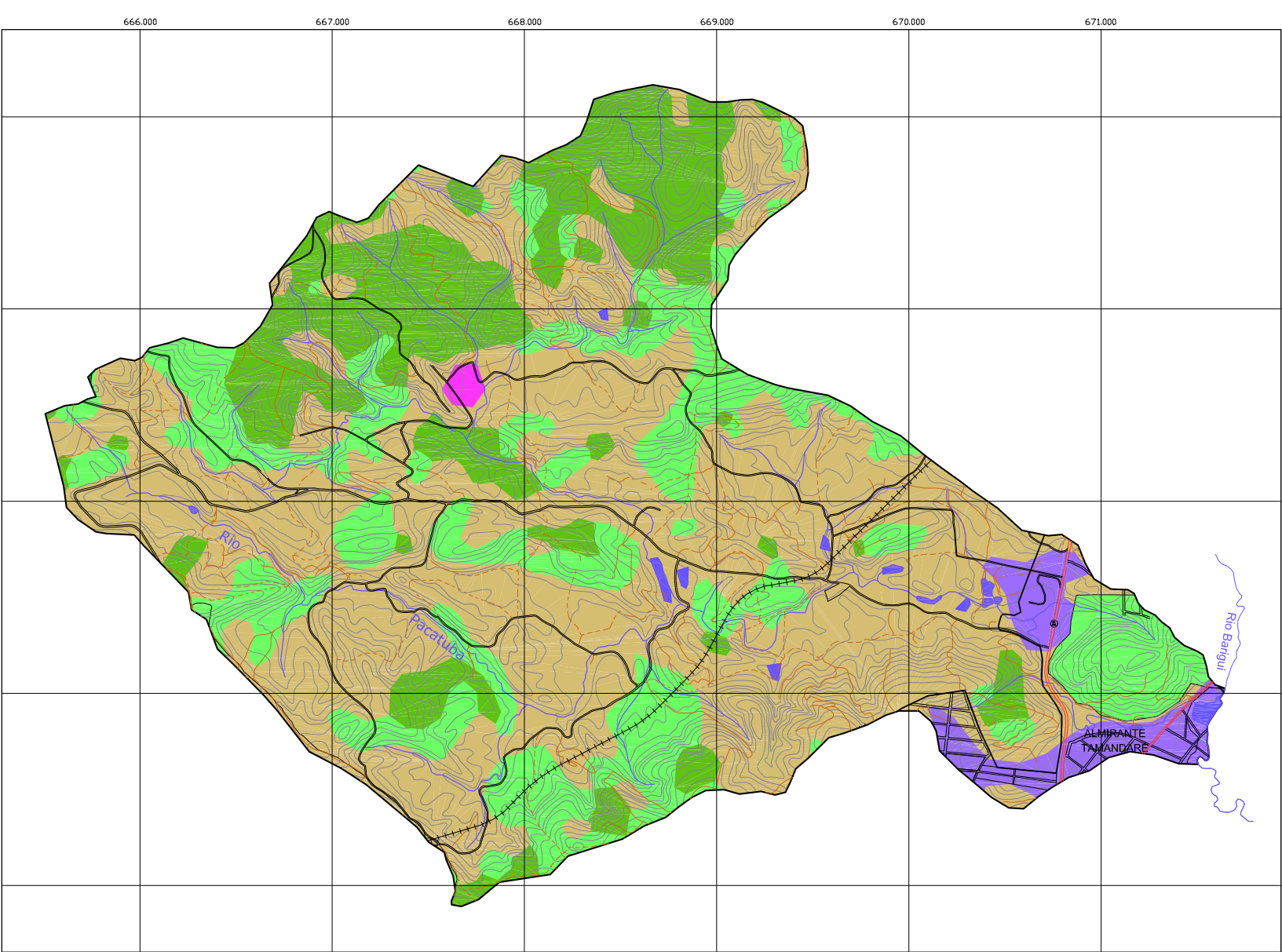
**FIGURA 20:** ÁREA AGRÍCOLA NAS PARTES MAIS PLANAS – ROCHAS CALCÁRIAS, COLÔNIA PACATUBA  
*FONTE:*(LIMA E POLIDORO, 2004)



**FIGURA 21:** PLANTAÇÃO DE FEIJÃO NA MEIA ENCOSTA. AO FUNDO REFLORESTAMENTO COM BRACATINGA, COLÔNIA PACATUBA – PROPRIEDADE SR. PUPIA  
*FONTE:*(LIMA E POLIDORO, 2004)



**MAPA 3: USO E OCUPAÇÃO DO SOLO**



LEGENDA

CLASSES DE USO E OCUPAÇÃO DO SOLO

- Floresta (florestas primárias, fases média e avançada da sucessão vegetal)
- Bracatinga
- Agropecuária
- Ocupação sobre a área de poje
- Mineração
- Limite do perímetro urbano de Almirante Tamandaré



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ  
SETOR DE CIÊNCIAS DA TERRA  
Departamento de Geologia  
Curso de Mestrado em Geologia Ambiental

Dissertação: KARST NA REGIÃO METROPOLITANA DE CURITIBA:  
ASPECTOS GEOLÓGICOS PARA A GESTÃO DO SOLO E USO DO  
AQUÍFERO SUBTERRÂNEO

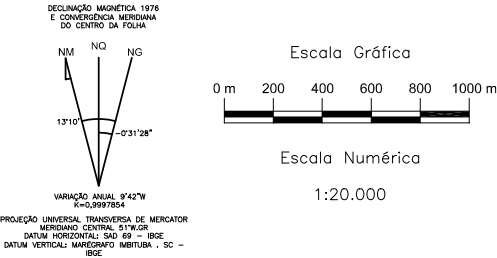
Tema:  
**USO E OCUPAÇÃO DO SOLO**

Aluno: Gil Fernando Bueno Polidoro  
Escala: 1:20.000  
Data: 2005

Orientador:  
Prof. Dr. Luiz Eduardo Mantovani

CONVENÇÕES CARTOGRÁFICAS

- Rede hidrográfica
- Lagos
- Limite da Bacia do Rio Pacatuba
- Rodovia estadual
- Arruamento/ estradas municipais
- Caminhos
- Ferrovia projetada
- Curva de nível mestra
- Curva de nível intermediária





**FIGURA 22:** RODOVIA DOS MINÉRIOS, ALTURA DO KM 19, ATIVIDADES CONFLITANTES COM A REGIÃO DE KARST. AO FUNDO UMAS DAS PRINCIPAIS ATIVIDADES ECONÔMICAS – PRODUÇÃO DE CAL  
*FONTE:*(LIMA E POLIDORO, 2004)



**FIGURA 23:** PORTAL DO INÍCIO DO CIRCUITO DA NATUREZA, ESTRADA DO MARMELEIRO, ÀS MARGENS DA RODOVIA DOS MINÉRIOS. AO LADO DIREITO, QUEIMA DO CALCÁRIO E PRODUÇÃO DE LAJES PARA A CONSTRUÇÃO CIVIL.  
*FONTE:*(LIMA E POLIDORO, 2004)



**FIGURA 24:** PROXIMIDADES DA NASCENTE DO RIO PACATUBA.  
CAPATAÇÃO DE ÁGUA DO RIO PACATUBA PARA ABASTECER O LAGO  
DO PESQUE PAGUE DO LUCIANINHO.  
*FONTE:*(LIMA E POLIDORO, 2004)

#### 5.4 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA-ALVO

##### 5.4.1 Análise da Fragilidade Geo-ambiental

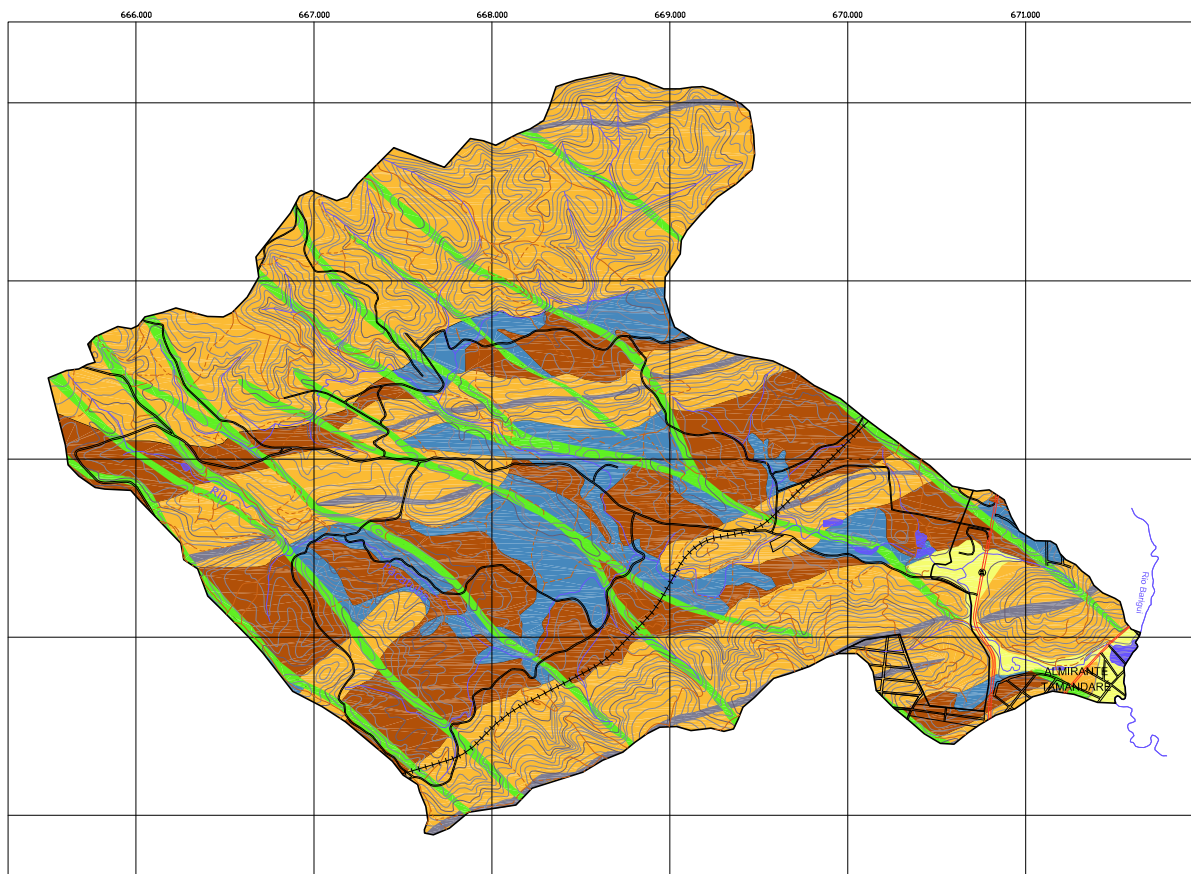
A análise aqui demonstrada levou em consideração os estudos geológicos do Convênio COMEC/MINEROPAR (1997 a 1999) para a adequabilidade para o uso e a ocupação do solo na região do Karst-RMC, obtida pelo cruzamento de informações da geologia e dos materiais inconsolidados (inclusive com parâmetros obtidos em ensaios geotécnicos) com as informações definidas pelas classes de declividade.

Nesta oportunidade os terrenos foram avaliados quanto a adequabilidade para loteamentos residenciais, construção de estradas, obras enterradas e disposição de resíduos e posteriormente utilizados na proposta do Plano de Zoneamento do Uso e Ocupação do Solo da Região do Karst na RMC (COMEC, 2002).

O estudo recomenda para a rocha calcária encoberta por material residual ou transportado, cujo relevo possua declividades que variam de 0 a 30% severas restrições à ocupação uma vez a susceptibilidade a afundamentos. Na área em questão, é muito comum a ocorrência desta situação (MAPA 4), particularmente junto à foz do Rio Pacatuba, onde um quarteirão encontra-se interditado, pelo Poder Público, uma vez os afundamentos,







## LEGENDA

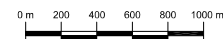
- Solos hidromórficos e sedimentos de origem aluvionar
- Solos residuais e transportados, desenvolvidos sobre diques básicos (saprilito e blocos na base)
- Solos residuais, desenvolvidos sobre rochas metacalcárias (metadolomitos)
- Solos transportados e sedimentos, em espessos pacotes de até 60m de espessura, depositados em depressões sobre rochas metacalcárias
- Solos transportados predominantes, em geral desenvolvidos sobre rochas metapelíticas (espesso saprilito na base)
- Solos rasos, litíficos, sobre rochas quartzíticas
- Limite do perímetro urbano de Almirante Tamandaré

## CONVENÇÕES CARTOGRÁFICAS

- Rede hidrográfica
- Lagos
- Limite da Bacia do Rio Pacatuba
- Rodovia estadual
- Arruamento/ estradas municipais
- Caminhos
- Ferrovia projetada
- Curva de nível mestra
- Curva de nível intermediária



Escala Gráfica



Escala Numérica

1:20.000



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ  
SETOR DE CIÊNCIAS DA TERRA  
Departamento de Geologia  
Curso de Mestrado em Geologia Ambiental

Dissertação: KARST NA REGIÃO METROPOLITANA DE CURITIBA

ASPECTOS GEOLÓGICOS PARA A GESTÃO DO SOLO E USO DO  
AQUÍFERO SUBTERRÂNEO

Tema:

**MATERIAIS INCONSOLIDADOS**

Aluno:

Gil Fernando Bueno Polidoro

Escala:

1:20.000

Data:

2005

Orientador:

Prof. Dr. Luiz Eduardo Mantovani

diga-se de passagem, acelerados pela exploração do aquífero subterrâneo (FIGURAS 25, 26, 27, 28, 29, 30).



**FIGURA 25:** VISTA PARCIAL DO QUARTEIRÃO INTERDITADO PELO PODER PÚBLICO, PRÓXIMO À FOZ DO RIO PACATUBA, EM ALMIRANTE TAMANDARÉ-PR, POR APRESENTAR TERRENOS COM PROBLEMAS DE SUBSIDÊNCIA  
*FONTE:*(LIMA E POLIDORO, 2004)



**FIGURA 26:** DETALHE DAS RACHADURAS E AFUNDAMENTO DO PISO NAS EDIFICAÇÕES LOCALIZADAS NO QUARTEIRÃO INTERDITADO PELO PODER PÚBLICO, EM ALMIRANTE TAMANDARÉ – PR, DEVIDO À SUBSIDÊNCIA DO TERRENO  
*FONTE:*(LIMA E POLIDORO, 2004)



**FIGURA 27:** DETALHE INTERNO DO COMPROMETIMENTO DA ESTRUTURA DE EDIFICAÇÃO LOCALIZADA NO QUARTEIRÃO INTERDITADO PELO PODER PÚBLICO EM ALMIRANTE TAMANDARÉ-PR, DEVIDO À SUBSIDÊNCIA DO TERRENO  
*FONTE:*(LIMA E POLIDORO, 2004)



**FIGURA 28:** DETALHE EXTERNO INTERNO DO COMPROMETIMENTO DA ESTRUTURA DE EDIFICAÇÃO LOCALIZADA NO QUARTEIRÃO INTERDITADO PELO PODER PÚBLICO EM ALMIRANTE TAMANDARÉ-PR, DEVIDO À SUBSIDÊNCIA DO TERRENO.  
*FONTE:*(LIMA E POLIDORO, 2004)





**FIGURA 29:** ESCOLA MUNICIPAL DE ENSINO ESPECIAL PROFESSORA NILZA DE OLIVEIRA, EM ALMIRANTE TAMANDARÉ – PR, SITUADA À RUA EMÍLIO JOHNSON, À MARGEM DIREITA DO RIO PACATUBA E JUNTO À SUA FOZ, INTERDITADA POR APRESENTAR RACHADURAS EM SUA EDIFICAÇÃO  
 FONTE:(LIMA E POLIDORO, 2004)



**FIGURA 30:** OCORRÊNCIA DE PEQUENAS DOLINAS, COM CERCA DE DOIS METROS DE DIÂMETRO, AO LADO DA ESCOLA MUNICIPAL DE ENSINO ESPECIAL NILZA DE OLIVEIRA EM ALMIRANTE TAMANDARÉ  
 FONTE:(LIMA E POLIDORO, 2004)

Na foz do rio Pacatuba, ocorrem deposições aluvionares que recobrem o substrato rochoso mascarando-o. Estes depósitos possuem camada superficial orgânica hidromórfica, plástica, mole a muito mole, baixa permeabilidade, com espessuras de 1 a 2 metros, sendo que abaixo desta, ocorrem camadas de argila intermediária mole a

muito mole, plástica, baixa permeabilidade e espessura em torno de 1 metro. No pavimento, areia fina a grossa e/ou cascalhos fofos. O nível piezométrico é raso ou quase aflorante, sendo a resistência à penetração (SPT) baixa em todo o perfil.

Apesar de todos estes estudos, o presente trabalho, adotou fortemente a metodologia e os resultados de Lima (2004) que além de incorporar dados e resultados obtidos por COMEC (2002), incorporou também metodologias anteriormente aplicadas na Avaliação da Susceptibilidade à Erosão no entorno do Lago da Barragem do Passaúna Polidoro e Lima (1988) e Plano de Manejo da Reserva de Proteção do Patrimônio Natural Salto Morato – Fundação O Boticário Polidoro e Lima (1994, 2002), que consiste em estabelecer o grau de fragilidade geo-ambiental.

Para tanto são caracterizados atributos aos fatores ambientais a serem ponderados:

- A) geologia; litotipologia e geologia estrutural (descontinuidades físicas do substrato);
- B) geomorfologia; unidades geoambientais e suas declividades;
- C) materiais inconsolidados;
- D) tipologias de uso e ocupação do solo; urbano e rural.

Foi adotada uma valoração relativa de 10 (dez) a 100 (cem) para cada fator ambiental, sendo que, quanto maior a pontuação, maior a sua fragilidade.

#### ***A) Fator Ambiental Geologia***

Para o fator ambiental Geologia, foram consideradas a litologia e suas características físicas tais como solubilidade (rocha calcária), compacidade (pelitos e quartzitos), formas resultantes do intemperismo (diabásio) e materiais de deposição recente (aluviões) inconsolidados.

Serviram de base para tanto os trabalhos de campo, fotointerpretação geológica e mapeamento, além dos resultados obtidos por Lima (2004).

As descontinuidades físicas ou fraquezas do substrato são representadas principalmente pela presença de falhas e fraturas, em particular as associadas à Falha de Cavalcamento de Almirante Tamandaré (FIORI, 1990, p 46), como também ao sistema regional NW-SE vinculado ao Arqueamento de Ponta Grossa.

Em nível de campo e mesmo em fotos aéreas, é perceptível que o conjunto litológico da Formação Capiiru na área estudada foi consideravelmente afetado pelos eventos tectônicos da Falha de Almirante Tamandaré.

Também foram considerados os redobramentos passíveis de serem observados em escala de fotografia aérea e provavelmente vinculados aos eventos de cavalgamento do Bloco E definido por Fiori (1990), além das xistosidades plano-paralelas. ( $S_1//S_0$ ).

As características geológicas foram então pontuadas de acordo com o que elas podem representar de risco geotécnico por si só:

- Litologia – Características Físicas:

- Rochas calcárias: maior solubilidade, risco de abatimentos do terreno.
- Aluviões: material inconsolidado com saturamento hídrico sub-superficial – risco de inundações.
- Rochas pelíticas e quartzíticas: material argilo-arenoso – risco de erosão e movimentos de escorregamento.
- Diabásio: decomposição esferoidal – risco de rolamento de blocos.

- Estrutural – Descontinuidades Físicas do Substrato

- Falhas e fraturas: planos preferenciais de circulação de água e movimentação de maciços.
- Redobramentos: planos de cisalhamento que impõem instabilidade aos taludes.
- Foliações: partição do maciço em lâminas paralelas ou sub-paralelas.

A TABELA 9, a seguir, expressa os valores atribuídos às características litológicas (Ia) e estruturais (Ib) para a área estudada. Quanto maior o risco empírico, maior a pontuação. A média aritmética entre elas resulta na valoração relativa do Fator Ambiental Geologia (I) -  $I = Ia + Ib$  (valor máximo igual a 100).

**TABELA 9: FATOR AMBIENTAL GEOLOGIA - I**

<b>Ia) Litologia – características físicas</b>		<b>Valor (80)</b>	<b>Ib) Estrutural – descontinuidades físicas</b>		<b>Valor (20)</b>
	Rochas Calcárias – maior solubilidade, risco de abatimento do terreno	80		Falhas/fraturas	20
	Aluviões	70		Redobramentos	15
	Rochas Pelíticas e Quartzíticas	30		Foliações	10
	Diques de Diabásio	20			

### ***B) Fator Ambiental Geomorfologia***

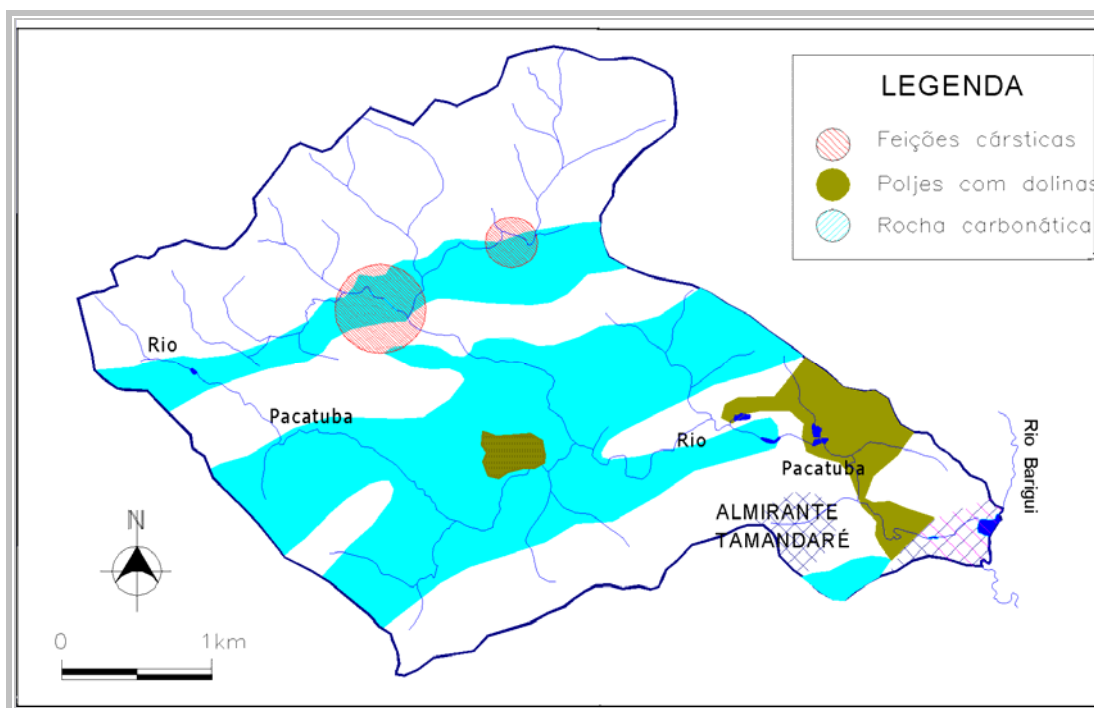
No âmbito do fator ambiental Geomorfologia, foram ponderadas as feições ocorrentes nas Zonas Cársticas, variando a pontuação do atributo de acordo com a maior ou menor dissolução constatada na construção do modelado e situação espacial diante do mesmo.

A maior dissolução se dá no arranjo lito-estrutural rocha carbonatada – em contato com zonas de fraqueza do substrato, por onde preferencialmente a carstificação ocorre sendo facilmente identificável tal fenômeno em campo e em imagens aéreas através das feições características – zonas aplainadas ou arrasadas, depressões, poljes, conjunto de dolinas e sumidouros e etc.

Estas feições se revestem de muita importância quanto a sua proteção, pois são os principais pontos de recarga do Aquífero Karst (FIGURA 31) e, portanto, obtiveram as maiores pontuações.

Também foram atribuídas altas pontuações às Planícies Aluvionares, uma vez corresponderem às zonas comumente de inundação dos cursos d'água da área estudada, compostas por material inconsolidado e mal drenado e que muitas vezes recobrem rochas calcárias que podem apresentar feições carstificadas susceptíveis a afundamentos de terrenos.

Ainda foram atribuídas pontuações menores às vertentes e ombreiras das Serranias Alongadas, que correspondem às rochas metapelíticas e quartzíticas da Formação Capiu.



**FIGURA 31:** FEIÇÕES CÁRSTICAS OCORRENTES NA BACIA DO RIO PACATUBA  
**FONTE:** POLIDORO, 2005.

Completando o fator Geomorfologia, foram valoradas as classes de declividade de 0% a maior que 45%, buscando contemplar a ação da gravidade e forças de atrito, propondo-se para tanto intervalos de 5% em 5%.

A TABELA 10, resume os valores relativos e atribuídos ao Fator Ambiental Geomorfologia (II), sendo que quanto maior o risco imposto pelas características das Unidades de Geoformas (IIa) e Declividades (IIb), maior a pontuação. A média aritmética entre elas resulta na sua valoração -  $II = IIa + IIb/2$  (valor máximo igual a 100).

**TABELA 10:** FATOR AMBIENTAL GEOMORFOLOGIA - II

<b>IIa - Unidades de Geoformas</b>		<b>Valor (100)</b>
<b>Zonas Cársticas</b>	Vertentes Laterais	90
	Platôs	100
	Relevos laterais (encostas com rochas mais aflorantes)	90
	Colinas cársticas com dolinas (morrotes)	100
	Poljes	100
	Altas Vertentes e Ombreiras	40
<b>Serrasias Alongadas</b>	Vertentes Íngremes	50
	Morrarias	20
	Baixas Vertentes	10
<b>Planícies Aluvionares</b>		100

<b>IIb - Declividades</b>	<b>Valor (100)</b>
> 45 %	100
30 – 45 %	80
20 – 30 %	60
10 – 20 %	30
5 – 10%	20
0 – 5%	10

### ***C) Fator Ambiental Materiais Inconsolidados***

Para os Materiais Inconsolidados considerou-se o seu posicionamento – residual (autóctone) ou transportado (alóctone) e a presença de restos da “rocha mãe”.

Os solos hidromórficos e residuais ou transportados e localizados sobre substrato carbonático são os que obtiveram maiores pontuações relativas. Os solos hidromórficos possuem um mau comportamento quanto à drenagem.

Os dispostos por sobre rochas carbonatadas ocupam zonas dissecadas e arrasadas do relevo que podem abrigar feições carstificadas (dolinas, sumidouros, etc) e, portanto, sujeitas a desencadear processos de colapsamento dos terrenos.

Os solos residuais de pouca espessura sobre as rochas pelíticas, transportados ou residuais sobre diabásios e blocos e lajes derivados do intemperismo sobre os quartzitos, por representarem um menor risco à ocupação, foram menos pontuados.

A TABELA 11 demonstra as pontuações atribuídas a cada uma das situações identificadas na área de estudo, limitadas ao valor máximo de 100.

**TABELA 11:** FATOR AMBIENTAL MATERIAIS INCONSOLIDADOS - III

	<b>III - Tipo</b>	<b>Valor (100)</b>
<b>Rochas Carbonatadas</b>	Solos Residuais	100
	Solos Transportados	100
	Solos Hidromórficos	100
<b>Rochas Pelíticas</b>	Solos Residuais	30
<b>Rochas Quartzíticas</b>	Presença de blocos e lajes	20
<b>Diques de Diabásio</b>	Solos Transportados e Residuais	30

#### ***D) Fator Ambiental Uso e Ocupação do Solo***

Quanto ao Fator Ambiental Uso e Ocupação do Solo a sua tipologia foi diferenciada – rural ou urbano, para fins do presente trabalho, pois áreas urbanizadas com adensamentos populacionais apresentam impermeabilização do solo, maior potencial poluidor (lixo, esgoto, etc), alteração de paisagem e de regime hídrico superficial (drenagem urbana) do que as áreas rurais.

Conseqüentemente, ao se sobrepor as manchas urbanas aos litotipos presentes na área estudada, com suas peculiaridades em termos de fragilidade geológica-geotécnica, tem-se os maiores valores para aquelas assentadas em rochas calcárias e sedimentos aluvionares e, os menores, para aquelas assentadas em rochas pelíticas e quartzíticas, conforme TABELA 12 – IVa.

Nas áreas rurais foram observadas as atividades desenvolvidas e conjugadas com a litotipologia presente (TABELA 12 – IVb1 e 2).

Atividades como a agricultura com uso de agroquímicos, pecuária (suinocultura) geradora de resíduos e efluentes líquidos contaminantes de solo, subsolo e águas receberam as pontuações mais elevadas e limitadas ao valor 100.

A presença de corpos hídricos lênticos no meio rural tais como lagos, tanques e dolinas preenchidas, uma vez a baixa capacidade de autodepuração dos mesmos e por serem eventuais condutores de cargas poluidoras aos aquíferos subterrâneos também receberam a pontuação máxima.

As atividades no meio rural voltadas ao reflorestamento e a manutenção de florestas receberam as menores pontuações.

Diferentemente das zonas urbanas, as zonas rurais não possuem grandes adensamentos populacionais, significativas impermeabilizações de solo e alterações da paisagem e do regime hídrico de superfície. Desta forma, a sua sobreposição aos litotipos presentes – rochas calcárias, rochas pelíticas, rochas quartzíticas e sedimentos aluvionares fez com que os mesmos obtivessem uma pontuação a menor se comparada à pontuação atribuída às áreas urbanas (TABELA 12, IVb-2).

**TABELA 12: FATOR AMBIENTAL USO E OCUPAÇÃO DO SOLO CONJUGADO COM A LITOLOGIA – IV.**

**IVa. Área Urbana**

<b>Litologia</b>	<b>Valor</b>
Rochas Calcárias	100
Aluvião	100
Rochas Pelíticas e Quartzíticas	40

**IVb. Área Rural**

<b>(1)Atividade</b>	<b>Valor</b>	<b>(2)Litologia</b>	<b>Valor</b>
Agropecuária	50		
Mineração	50	Rocha Calcária	50
Bracatinga/Reflorestamento	40	Aluvião	50
Florestas Nativas	10	Rocha Pelítica / Quartzítica	20
Corpos D'água (lagos, dolinas)	50		

**Área Urbana = IVa** (valor máximo 100)

**Área Rural = IVb** sendo = (1) + (2) (valor máximo 100)



#### 5.4.2 Estabelecimento do Coeficiente de Fragilidade Geo-ambiental (FA)

O Coeficiente de Fragilidade Geo-Ambiental (FA) foi então obtido a partir da média aritmética das pontuações finais obtidas para cada um dos fatores ambientais, ou seja:

$$\{FA = (I + II + III + IV) / 4\}$$

onde:

I = Fator Ambiental Geologia (Ia + Ib)

Ia = litologia e suas características físicas

Ib = estrutural – descontinuidades físicas do substrato

II = Fator Ambiental Geomorfologia (IIa + IIb)/2

III = Fator Ambiental Materiais Inconsolidados

IV = Fator Ambiental Uso e Ocupação do Solo (área urbana IVa, área rural IVb (1+2))

Estabeleceu-se, a partir do cálculo do Coeficiente de Fragilidade Geo-Ambiental, uma escala das Classes de Fragilidade Geo-Ambiental, variando de < 20 (nula) até 100 (muito alta). (TABELA 13).

**TABELA 13:** CLASSES DE FRAGILIDADE GEO-AMBIENTAL

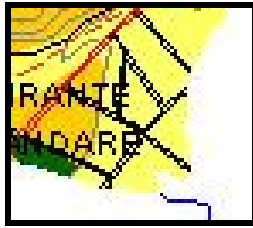
CLASSES	VALOR
<b>Muito Alta</b>	81 - 100
<b>Alta</b>	61 – 80
<b>Média</b>	41 – 60
<b>Baixa</b>	21 – 40
<b>Nula</b>	<20

*FONTE:* Modificado de LIMA (2004)

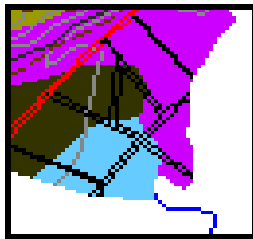
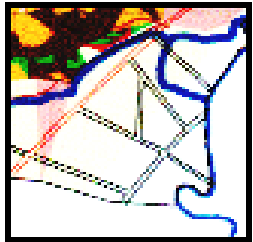
Para melhor compreensão e tomando-se a quadrícula C-16 do Mapa de Fragilidade Geo-Ambiental (MAPA 03) como exemplo, o cálculo é assim composto:



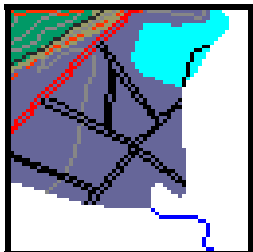
I - Geologia: a litologia é caracterizada por rochas calcárias (70) com a presença de falhas/fraturas (20). **Valor final = 70 + 20 = 90**



**II – Geomorfologia:** a unidade geoambiental presente é a Zona Cárstica – polje (100), com declividades entre 5% a 10%, 10% a 20% e 20% a 30% (média aritmética  $10 + 30 + 60 + 80 = 190$ , sendo  $180/4 = 45$ ). **Valor final =  $(100 + 45) / 2 = 75$**  (arredonda-se para múltiplos de 5, não utilizando casas decimais)



**III – Materiais Inconsolidados:** presença predominante de solos residuais de rochas calcárias e solos hidromórficos (100). **Valor final = 100**



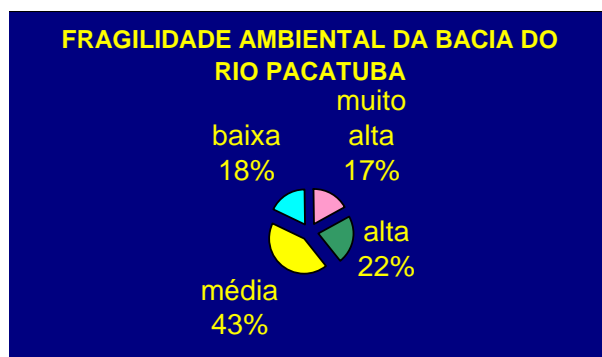
**IV – Uso e Ocupação do Solo:** Situada na área urbana, com a presença de rochas calcárias (100). **Valor Final = 100.**



O cálculo da Fragilidade Ambiental é a média aritmética dos quatro fatores I, II, III e IV, ou seja  $(75 + 90 + 100 + 100) / 4 = 91,25$  (neste momento utiliza-se o número real, com duas casas decimais, para ser enquadrado na tabela das classes definidas).

Ao porcentualizar o risco que o meio físico impõe, tanto ao meio ambiente quanto à sociedade na Bacia Hidrográfica do Rio Pacatuba, entendendo-se como risco aquele que envolve a possibilidade de danos e perdas materiais, podendo ser atual (instalado) em áreas ocupadas ou potencial em áreas desocupadas Oliveira e Brito

(1998, apud LIMA, 2004, p 21) o mesmo varia de alto a muito alto em 39% de sua área uma vez o seu coeficiente de Fragilidade Geo-Ambiental (FIGURA 32).



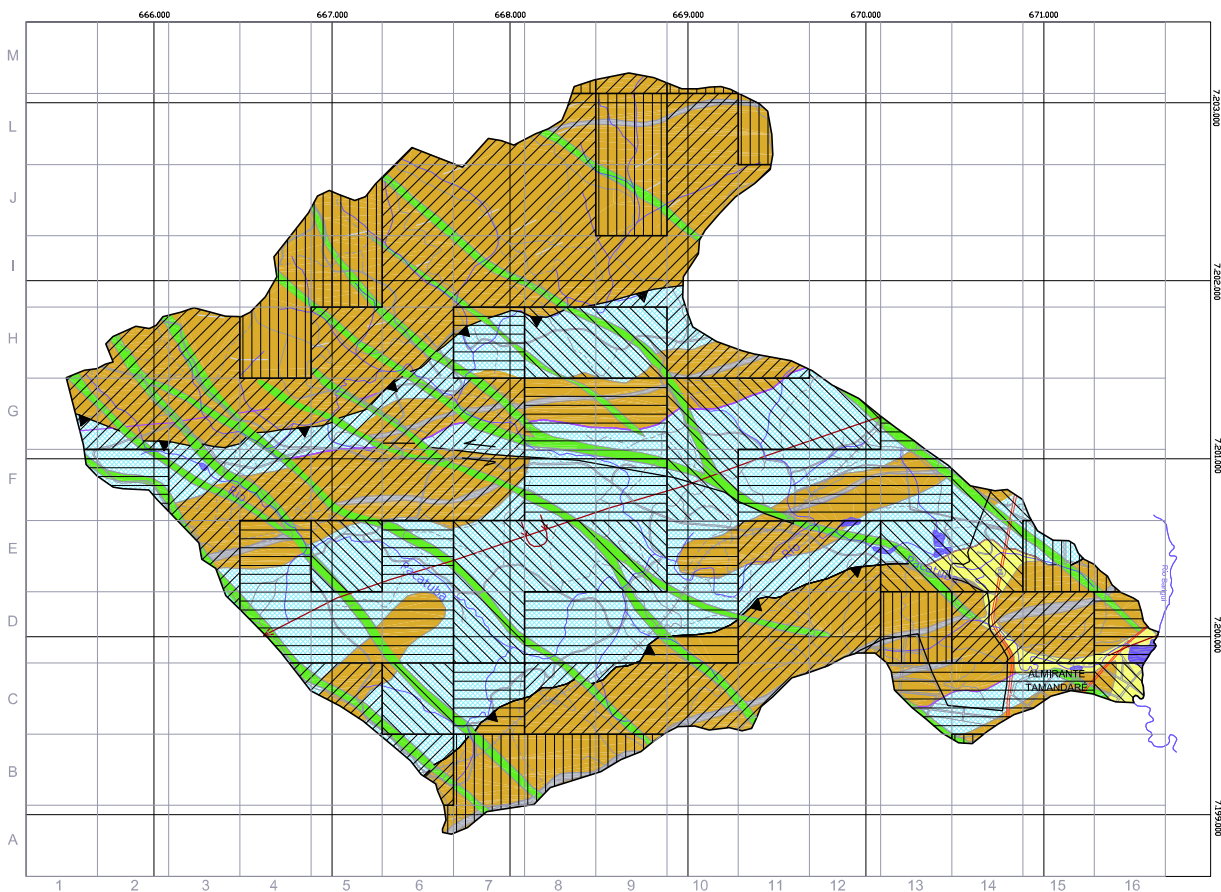
**FIGURA 32:** PERCENTAGEM DA FRAGILIDADE AMBIENTAL DA BACIA DO RIO PACATUBA  
 Fonte: LIMA, 2004.

Tendo em vista que o presente estudo tem como um de seus objetivos estabelecer recomendações a serem incorporadas ao processo de planejamento territorial da RMC e gestão da ocupação do solo e uso do aquífero na região do Karst, o Mapa de Fragilidade Geo-Ambiental foi construído de maneira a facilitar o seu uso e compreensão por técnicos e profissionais de outras áreas, que não aqueles das Ciências da Terra.

Por isto mesmo a base cartográfica utilizada (Escala 1:20.000) foi subdividida em quadriculas de 200 por 200 metros as quais foram tratadas individualmente e lançados os seus Coeficientes de Fragilidade Geo-Ambiental, prevalecendo para toda a quadricula a pontuação predominante.

O produto final (MAPA 05) resulta numa melhor percepção da Fragilidade Geo-Ambiental da Bacia Hidrográfica do Rio Pacatuba como um todo.

**MAPA 5: FRAGILIDADE AMBIENTAL**



### CONVENÇÕES CARTOGRÁFICAS

- Rede hidrográfica
- Lagos
- Limite da Bacia do Rio Pacatuba
- Rodovia estadual
- Arruamento/ estradas municipais
- Caminhos
- Ferrovia projetada
- Limite do perímetro urbano de Almirante Tamandaré

DELIMITAÇÃO AMOSTRA 1826  
E CORREÇÃO PARA A BORDA  
DO CORTA DA FOLHA

VARIAÇÃO MAGNÉTICA 1916  
1916 1916

VARIAÇÃO MAGNÉTICA 1916  
1916 1916

PROJEÇÃO UNIVERSAL TRANSVERSA DE MERCATOR  
MERIDIANO CENTRAL 57°W  
DATUM HORIZONTAL: SAO 86  
DATUM VERTICAL: MARCO ZERO MEDEIAN - SC - 1982

Escala Gráfica

0 m 200 400 600 800 1000 m

Escala Numérica:

1:20.000

### LEGENDA

#### CLASSES DE FRAGILIDADE GEOAMBIENTAL

- Muito alta
- Alta
- Média
- Baixa

#### UNIDADES GEOLÓGICAS - ESTRATIGRAFIA

- QUATERNÁRIO
  - Sedimentos recentes
  - Depósitos aluvionares
- JURO-CRETÁCEO
  - Intrusivas básicas
  - Diques de diabásio
- GRUPO AÇUNGUI
  - FORMAÇÃO CAPIRU
    - Metacalcários dolomíticos
    - Metapelitos
    - Quartzitos
- PROTEROZOICO SUPERIOR

#### CONVENÇÕES GEOLÓGICAS

- Contato geológico
- Falha indescriminada
- Falha de cavalgamento
- Falha transcorrente
- Anticlinal invertido com eixo inclinado
- Lineamentos



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ  
SETOR DE CIÊNCIAS DA TERRA  
Departamento de Geologia  
Curso de Mestrado em Geologia Ambiental

Dissertação: KARST NA REGIÃO METROPOLITANA DE CURITIBA:

ASPECTOS GEOLÓGICOS PARA A GESTÃO DO SOLO E USO DO  
AQUÍFERO SUBTERRÂNEO

Tema:

### FRAGILIDADE GEOAMBIENTAL

Aluno: Gil Fernando Bueno Polidoro

Escala: 1:20.000

Data: 2005

Orientador:

Prof. Dr. Luiz Eduardo Mantovani

### 5.4.3 Análise da Vulnerabilidade das Águas Subterrâneas

Diversos são os métodos empíricos de análise da vulnerabilidade dos aquíferos subterrâneos. Dentre estes, o que mais se mostra adequado diante do nível de informações básicas da Bacia Hidrográfica do Rio Pacatuba é o de GOD (FOSTER, HIRATA, ROCHA, 2004).

O Método de GOD consiste em inter-relacionar 03 (três) informações fundamentais:

- G – *Groundwater*, ou seja o comportamento do aquífero – se livre, semi-confinado, confinado;
- O – *Overall*, onde se pondera as características de cobertura do aquífero – grau de consolidação, litologia, etc;
- D – *Depth*, a profundidade em que se encontra o nível de água.

Os atributos variam de 0 (zero) a 1 (hum), assim definidos conforme tabela adiante:

**TABELA 14: VALORES E ATRIBUTOS DO MÉTODO GOD**

Valor G	TIPO
0	Confinado
0,5	Semi-confinado
1	livre
Valor O	
0	Impermeável
0,5	Semi-impermeável
1	permeável
Valor D	
0	Profundidade maior que 100 metros
0,5	Profundidade de 50 metros
1	Profundidade menor que 10 metros

Na área em questão, ocorrem basicamente os seguintes sistemas de aquífero e respectivas características (COMEC, 2002, p 9-4):

- Karst - Metacalcário Dolomítico, permeabilidade cárstica, podendo ser livre, semi-confinado ou confinado, sendo que a profundidade em que se

encontra o nível piezométrico estático pode variar de 20 até 150 metros<sup>16</sup>.

- Karst – Filitos e Quartzitos, permeabilidade fissural (baixa), livre ou confinado<sup>17</sup>, sendo que o acesso ao recurso se dá entre 60 e 200 metros.

Diante disto a área em apreço apresenta, para o sistema Karst – Metacalcários Dolomíticos a seguinte vulnerabilidade empírica:

$$G = 1$$

$$O = 1$$

$$\underline{D = 0,5}$$

$$2,5 : 3 = 0,83$$

E para o sistema Karst – Filitos e Quartzitos a seguinte vulnerabilidade empírica:

$$G = 0$$

$$O = 0,2$$

$$\underline{D = 0}$$

$$0,2 : 3 = 0,07$$

Pelo Método GOD, quanto mais próximo de 1 (hum) a somatória dos valores relativos aos atributos mais vulnerável é o aquífero e quanto mais próximo de 0 (zero), menor é esta possibilidade.

Desta forma, as águas subterrâneas que circulam nas rochas carbonatadas da Bacia do Rio Pacatuba, apresentam-se vulneráveis carecendo de cuidados especiais quanto a riscos de contaminações provocados pela ocupação do seu território e uso equivocado do recurso hídrico (FIGURAS 33, 34, 35).

Já para o conteúdo litológico representado pelos metapelitos, como era de se esperar, a situação é de pouca vulnerabilidade, uma vez suas características de baixa permeabilidade.

---

<sup>16</sup> Os trabalhos de campo revelaram que, dada a presença de surgências, dolinas e poljes, pode tratar-se de aquífero livre com possibilidade de nível piezométrico estático abaixo dos 100 metros.

<sup>17</sup> Os trabalhos de campo revelaram que na Bacia do Rio Pacatuba o mesmo comporta-se neste sistema como aquífero confinado, possivelmente com profundidades de obtenção de água superiores a 100 metros.

Situação de extrema preocupação é a relativa aos aluviões pois comportam-se como aquíferos livres, permeáveis, cujo nível da água é quase aflorante:

$$G = 1$$

$$O = 1$$

$$\underline{D = 1}$$

$$3: 3 = 1$$



**FIGURA 33:** PORÇÃO MÉDIA DO RIO PACATUBA, SITUADO SOBRE ROCHAS CALCÁRIAS. À ESQUERDA UMA CONSTRUÇÃO DESRESPEITANDO DIPLOMAS LEGAIS. O PROPRIETÁRIO RETIRA ÁGUA DO RIO MEDIANTE BOMBEAMENTO DIRETO

*Fonte:* LIMA E POLIDORO, 2004.



**FIGURA 34:** UMA DOLINA PREENCHIDA POR ÁGUA. À DIREITA DA FOTO, OCUPAÇÃO SITUADA AO LADO DO LAGO, COLÔNIA PACATUBA

*Fonte:* LIMA E POLIDORO, 2004.





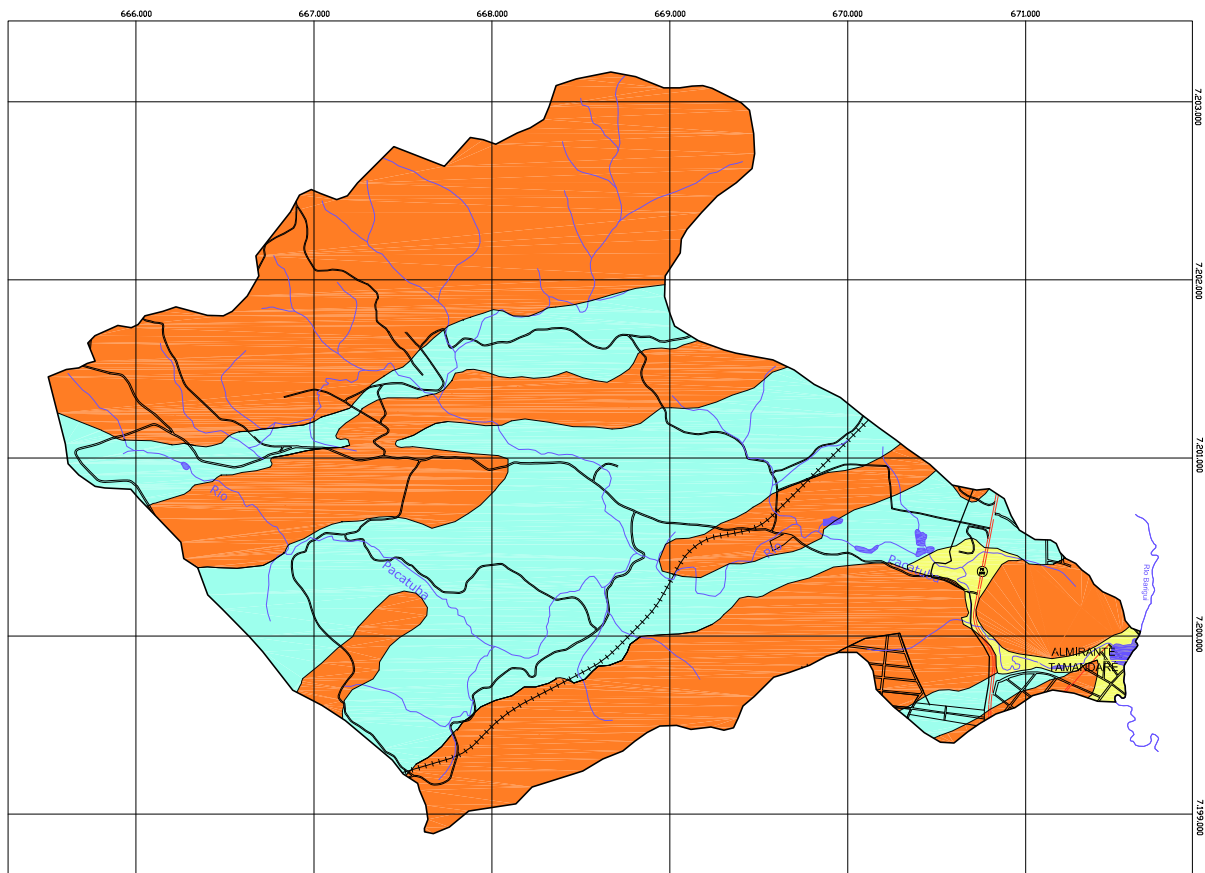


**FIGURA 37:** DETALHE DA AUSÊNCIA DE MANUTENÇÃO DOS DRENOS INSTALADOS SOB A AV. EMÍLIO JONHSON, ALMIRANTE TAMANDARÉ-PR, LEITO RETIFICADO DO RIO PACATUBA.

*FONTE:* POLIDORO (2005)

O MAPA 06 expressa espacialmente a análise levada a efeito no presente estudo.

**MAPA 6: VULNERABILIDADE DOS AQÜÍFEROS SUBTERRÂNEOS**



## LEGENDA

### Vulnerabilidade dos Aquíferos Subterrâneos Método Empírico GOD

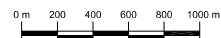
- Muito vulnerável – Aluvião
- Vulnerável – Karst: Metacalcários dolomíticos
- Pouco vulnerável – Karst: Filitos e Quartzitos

## CONVENÇÕES CARTOGRÁFICAS

- Rede hidrográfica
- Lagos
- Limite da Bacia do Rio Pacatuba
- Limite do perímetro urbano de Almirante Tamandaré
- Rodovia estadual
- Arruamento/ estradas municipais
- Ferrovias projetadas



## Escala Gráfica



Escala Numérica:

1:20.000



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ  
SETOR DE CIÊNCIAS DA TERRA  
Departamento de Geologia  
Curso de Mestrado em Geologia Ambiental

Dissertação: KARST NA REGIÃO METROPOLITANA DE CURITIBA:

ASPECTOS GEOLÓGICOS PARA A GESTÃO DO SOLO E USO DO  
AQUÍFERO SUBTERRÂNEO

Tema:

VULNERABILIDADE DOS AQUÍFEROS SUBTERRÂNEOS

Aluno:

Gil Fernando Bueno Polidoro

Escala:

1:20.000

Data:

2005

Orientador:

Prof. Dr. Luiz Eduardo Mantovani

## **6 CRITÉRIOS PARA A OCUPAÇÃO DO SOLO E RECOMENDAÇÕES PARA O USO DA ÁGUA**

A análise da fragilidade geo-ambiental levada a efeito na Bacia Hidrográfica do Rio Pacatuba, disse respeito ao potencial do meio físico de vir a gerar riscos ao meio ambiente promovendo danos sociais e patrimoniais à comunidade. Estes riscos podem ser naturais ou induzidos pela ação antrópica.

Tal análise quantificou em 39% o percentual de áreas consideradas de alta fragilidade ou muito alta fragilidade. As áreas, assim consideradas, apresentam um contexto de terrenos rebaixados, natureza cárstica com depressões preenchidas ou não por água ou material residual, com alto potencial hidrogeológico e muito susceptíveis às contaminações e afundamentos, representando áreas de recarga de água subterrânea.

Também nestas circunstâncias de fragilidade encontram-se as áreas de várzea ou planícies de inundação do rio Pacatuba junto a sua foz, compreendendo terrenos muitos planos, mal drenados e aluvionares.

Diante do panorama diagnosticado (situação atual) é imprescindível o estabelecimento de critérios para a ocupação do solo e recomendações para o uso da água.

De acordo então com a Fragilidade Geo-Ambiental da Bacia Hidrográfica do Rio Pacatuba, a sua ocupação do solo, tanto no meio urbano como no rural, deve privilegiar a preservação ambiental evitando-se os adensamentos populacionais e as impermeabilizações do solo com edificações e vias de circulação.

No meio urbano, a ocupação deve ser precedida e orientada pela disponibilidade de saneamento básico – coleta e tratamento de esgoto, coleta e tratamento de resíduos sólidos e etc.

No meio rural a atividade da agricultura sem o uso de agroquímicos deve ser estimulada, assim como a silvicultura e o ecoturismo ou o turismo rural.

Relativo ao uso da água, a vulnerabilidade do aquífero subterrâneo determina que a mesma destine-se principalmente à manutenção da biota, ao lazer e à manutenção do ciclo hidrológico.

Nos casos do uso da água subterrânea para fins de abastecimento público ou mesmo uso privado e comercial, é recomendável a exploração em áreas de pouca vulnerabilidade associadas a áreas de média e baixa fragilidade geo-ambiental.

A TABELA 15, a seguir, sintetiza os critérios para a ocupação do solo e as recomendações para o uso da água.

**TABELA 15: CRITÉRIOS PARA A OCUPAÇÃO DO SOLO E RECOMENDAÇÕES PARA O USO DA ÁGUA**

CARACTERÍSTICAS DA BACIA DO RIO PACATUBA		CRITÉRIOS PARA A OCUPAÇÃO DO SOLO		RECOMENDAÇÕES PARA O USO DA ÁGUA	
FRAGILIDADE GEO-AMBIENTAL	VULNERABILIDADE DO AQUÍFERO SUBTERRÂNEO	MEIO URBANO	MEIO RURAL	MEIO URBANO	MEIO RURAL
Muito Alta - Aluviões  - Relevo Plano - Planície de Inundação - Urbanização	Muito Vulnerável - Alta Permeabilidade - Nível d'água aflorante (<10m) - Aquífero livre	Preservação Ambiental Parques Urbanos c/ estruturas leves	Preservação Ambiental	Contemplativo, lazer  Ed. Ambiental Manutenção da Biota	Ed. Ambiental  Manutenção da Biota
Muito Alta Relevo Cárstico Aplainado Materiais Inconsolidados Residuais - Alóctone/Autóctone (cobertura dos Metacalcários Dolomíticos) Estruturas Cársticas - dolinas, sumidouros, poljes, etc	Vulnerável - Alta a Média permeabilidade - Zonas de - Nível d'água entre 10 e 100 m.  - Aquífero Livre ou Semi-Confinado	Preservação Ambiental Parques Urbanos c/ estruturas leves	Ecoturismo  Preservação Ambiental	Contemplativo, lazer Ed. Ambiental  Manutenção da Biota	Ed. Ambiental  Manutenção da Biota
Alta Metadolomito aflorante com poucas estruturas Relevo aplainado a suavemente ondulado	Vulnerável - Alta a Média Permeabilidade - Zona de Recarga - Nível d'água entre 10 e 100m. - Aquífero Livre ou Semi-Confinado	Baixíssima Densidade (unifamiliar) c/ estruturas leves Baixíssima Taxa de Ocupação e Impermeabilização (5%) Módulo Fundiário Maior que 5.000 m²	Baixíssima Densidade (unifamiliar) c/ estruturas leves Baixíssima Taxa de Ocupação e Impermeabilização (10%) Módulo Fundiário Maior que 10.000 m² Silvicultura Agricultura Orgânica limitada Ecoturismo e Turismo Rural	Contemplativo, lazer Ed. Ambiental Manutenção da Biota Abastecimento Público pouco intensivo	Ed. Ambiental Manutenção da Biota Manutenção da Irrigação
Média  Metadolomito aflorante (transição para metapelitos)  Relevo suavemente ondulado	Pouco Vulnerável a Vulnerável - Baixa a Média Permeabilidade - Nível d'água entre 10 a + 100m - Aquífero Livre ou Semi-Confinado	Baixa Densidade (até duas und. Familiares)  Baixíssima Taxa de Ocupação e Impermeabilização (10%) Módulo Fundiário Maior que 2.000 m² Ocupação Orientada de acordo com a disponibilidade de rede de esgoto e coleta de lixo	Baixa Densidade (até duas und. Familiares)  Baixíssima Taxa de Ocupação e Impermeabilização (10%) Módulo Fundiário Maior que 5.000 m² Agricultura Extensiva sem Uso de Agroquímicos Silvicultura Ecoturismo e Turismo Rural	Contemplativo, lazer  Ed. Ambiental Manutenção da Biota Abastecimento Público pouco intensivo	Ed. Ambiental  Manutenção da Biota Manutenção da Irrigação  Piscicultura
Baixa  Metapelitos Relevo ondulado	Pouco Vulnerável - Baixa Permeabilidade - Aquífero Confinado  - Nível D'água de 10 a + 100m	Média Densidade (até duas und. Familiares)  Média Taxa de Ocupação e Impermeabilização (40%)  Módulo Fundiário Maior que 500 m² Ocupação Permitida de acordo com a disponibilidade de rede de esgoto e coleta de lixo	Média Densidade (até duas und. Familiares)  Média Taxa de Ocupação e Impermeabilização (20%)  Módulo Fundiário Maior que 2.000 m² Agricultura Extensiva sem Uso de Agroquímicos Silvicultura Ecoturismo e Turismo Rural	Contemplativo, lazer  Ed. Ambiental Manutenção da Biota Abastecimento Público pouco intensivo	Ed. Ambiental  Manutenção da Biota  Manutenção da Umidificação do Solo  Piscicultura Irrigação Intensiva

## **7 PROPOSTA DE ZONEAMENTO DA OCUPAÇÃO DO SOLO E DE USO DA ÁGUA SUBTERRÂNEA**

Apesar de toda esta fragilidade do meio físico, conflitos já se instalaram na bacia. Ao ser analisada a TABELA 6, à página 53 do presente trabalho, a qual inter-relaciona matricialmente a influência dos conflitos na área do Karst da RMC, é nítido o peso do uso e da ocupação do solo como fator ativo dos mesmos. O uso ou exploração do aquífero subterrâneo é preponderante, por sua vez, como fator passivo.

Nestes casos, uma ação eficaz dentro do processo de planejamento é o ordenamento do território e do uso da água através de seu zoneamento que, inclusive, deve ser entendido como instrumento da gestão territorial.

Ao cruzar ou sobrepor as informações contidas no Mapa de Fragilidade Geo-Ambiental com as contidas no Mapa de Vulnerabilidade do Aquífero Subterrâneo e, cotejando-as com os critérios para a ocupação do solo e recomendações para o uso da água (TABELA 15) é possível propor um Zoneamento da Ocupação do Solo e de Uso da Água Subterrânea (MAPA 5) para a Bacia Hidrográfica do Rio Pacatuba.

A proposta estabelece zonas de ocupação proibida, restritiva, orientada e permitida, assim como de uso proibido e controlado da água (TABELA 16).

As zonas definidas como restritivas devem ser aquelas em que os critérios de densidade de ocupação do solo, em conjunto com os limites mínimos dos módulos fundiários, prevaleçam. As zonas definidas como de ocupação orientada devem ser aquelas em que a presença de infraestrutura de saneamento, as nortearão.

Quanto às zonas de uso controlado da água, devem ser aquelas em que o Poder Público defina as vazões possíveis e permitidas de exploração.

Salienta-se que o Mapa de Zoneamento da Ocupação do Solo e do Uso do Aquífero Subterrâneo (MAPA 7) também foi construído a partir da base cartográfica, 1:20.000, dividida em quadrículas de 200 metros por 200 metros, para facilitar a sua compreensão e o seu uso na gestão do território por técnicos e profissionais de outras áreas.

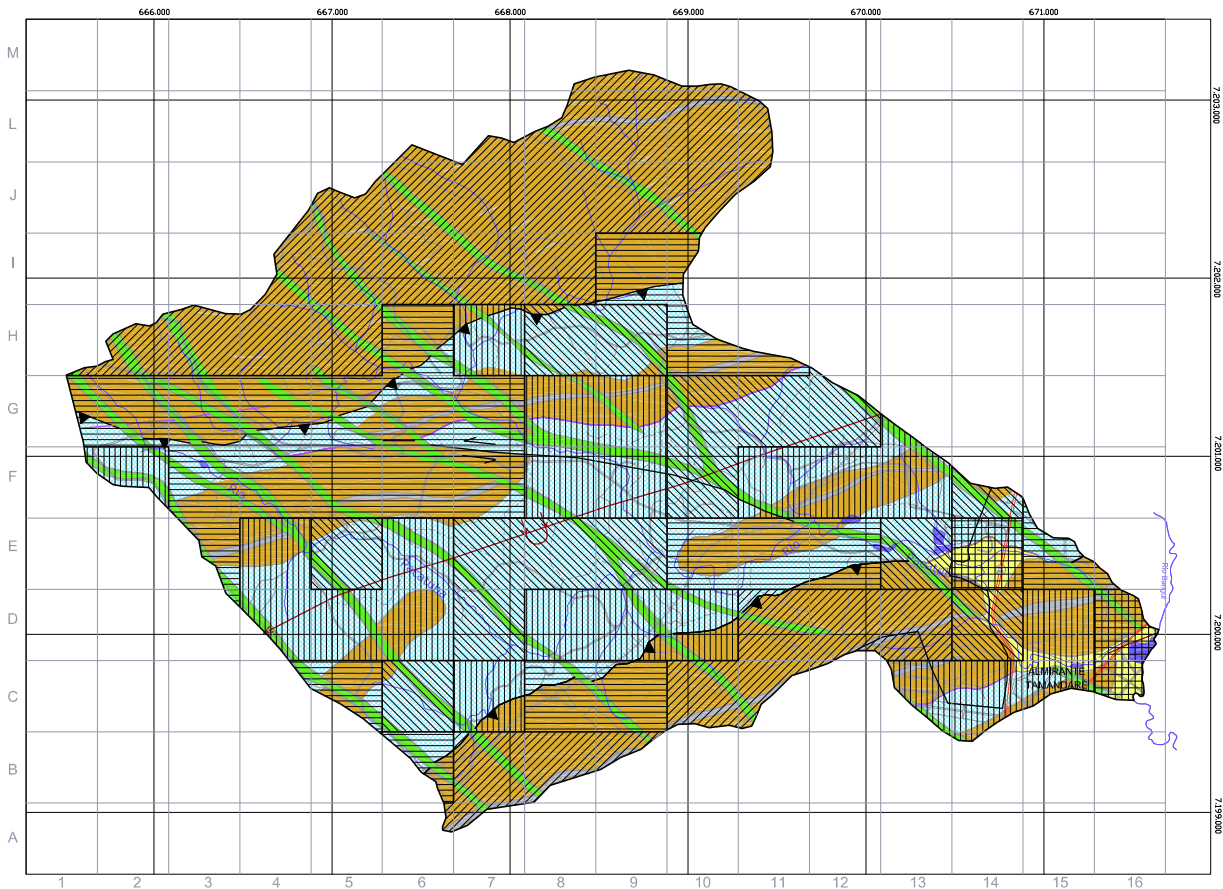
Ou seja, o zoneamento contido nas quadrículas é o predominante nas mesmas.



**TABELA 16:** ZONEAMENTO DA OCUPAÇÃO DO SOLO E DO USO DA ÁGUA SUBTERRÂNEA.

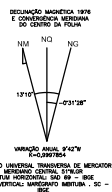
ZONAS	CARACTERÍSTICAS	
	FRAGILIDADE GEO-AMBIENTAL	VULNERABILIDADE DO AQUÍFERO SUBTERRÂNEO
Ocupação do Solo e Uso da Água Proibidos	Muito Alta	Muito Vulnerável
Ocupação Restritiva do Solo e Uso Proibido da Água	Muito Alta	Vulnerável
Ocupação Restritiva do Solo e Uso Controlado da Água	Alta	Vulnerável
Ocupação Orientada do Solo e Uso Controlado da Água	Média	Pouco Vulnerável a Vulnerável
IV) Ocupação Permitida do Solo e Uso Controlado da Água	Baixa	Pouco Vulnerável

**MAPA 7: ZONEAMENTO DA OCUPAÇÃO DO SOLO E DO USO DO AQUÍFERO  
SUBTERRÂNEO**



### CONVENÇÕES CARTOGRÁFICAS

- |                                 |   |
|---------------------------------|---|
| Rede hidrográfica               | Caminhos  |
| Lagos                           | Ferrovia projetada                                |
| Limite da Bacia do Rio Pacatuba | Limite do perímetro urbano de Almirante Tamandaré |
| Rodovia estadual                |   |
| Arruamento/ estradas municipais |   |



### LEGENDA

#### FRAGILIDADE AMBIENTAL X VULNERABILIDADE DOS AÇÓIFEROS À POLUIÇÃO

- |  |  |
|--|--|
|  | Ocupação do solo e uso da água proibidos                         |
|  | Ocupação restritiva do solo e uso proibido da água subterrânea   |
|  | Ocupação restritiva do solo e uso controlado da água subterrânea |
|  | Ocupação orientada do solo e uso controlado da água subterrânea  |
|  | Ocupação permitida do solo e uso controlado da água subterrânea  |

#### UNIDADES GEOLÓGICAS - ESTRATIGRAFIA

- |               |                       |
|---------------|-----------------------|
| QUATERNÁRIO   | Sedimentos recentes   |
|               | Depósitos aluvionares |
| JURO-CRETÁCEO | Intrusivos básicos    |
|               | Diques de diabásio    |

- |                       |                          |
|-----------------------|--------------------------|
| GRUPO AÇUNGUI         | FORMAÇÃO CAPIRU          |
|                       | Metacálculos dolomíticos |
|                       | Metapelitos              |
|                       | Quartzitos               |
| PROTEROZOICO SUPERIOR |                          |

#### CONVENÇÕES GEOLÓGICAS

- |  |   |
|--|---|
|  | Contato geológico                       |
|  | Falha indiscriminada                    |
|  | Falha de covigamento                    |
|  | Falha transcorrente                     |
|  | Anticlinal invertido com eixo inclinado |
|  | Lineamentos                             |



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ  
SETOR DE CIÊNCIAS DA TERRA  
Departamento de Geologia  
Curso de Mestrado em Geologia Ambiental

Dissertação: KARST NA REGIÃO METROPOLITANA DE CURITIBA:

ASPECTOS GEOLÓGICOS PARA A GESTÃO DO SOLO E USO DO AÇÓIFERO SUBTERRÂNEO

Tema:

ZONEAMENTO PARA OCUPAÇÃO DO SOLO E USO DO AÇÓIFERO SUBTERRÂNEO

Aluno:

Gil Fernando Bueno Polidoro

Escala:

1:20.000

Data:

2005

Orientador:

Prof. Dr. Luiz Eduardo Mantovani

## **8 RECOMENDAÇÕES PARA A PROTEÇÃO DA ÁGUA SUBTERRÂNEA**

De acordo com resultados de análises dos principais parâmetros químicos e pH realizadas em amostras de poços construídos pela SANEPAR, em Almirante Tamandaré (Sede, Bacia do Pacatuba, Tranqueira e Botiatuba), as águas subterrâneas do karst estão dentro dos padrões de potabilidade preconizados pelo arcabouço legal brasileiro (RESOLUÇÃO CONAMA Nº 20/86), conforme a TABELA 17.

Em alguns poços os teores de  $\text{NO}_3$  mostraram-se próximos a 5 mg/L, mas, segundo SANEPAR (2002, p 144) não devem causar preocupação pois o relevo cárstico acumula material orgânico (solo hidromórfico) que deve ser a fonte destes índices mais expressivos

**TABELA 17:** ANÁLISES DOS PRINCIPAIS PARÂMETROS QUÍMICOS E pH, CORRESPONDENTES AOS POÇOS PERFURADOS PARA A SANEPAR, EM ALMIRANTE TAMANDARÉ. OS PARÂMETROS QUÍMICOS ESTÃO EXPRESSOS EM mg/L.

ANÁLISE	POÇO	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SiO <sub>2</sub>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	pH
01	SP-01	1,77	3,62	206,18	14,9	36,53	16,53	3,1	2,1	7,6
02	SP-01	3,45	1,68	216,79	7,3	33,31	15	2	2,2	7,33
08	SP-07	4,42	3,15	198,09	15,1	34,15	16,16	2,5	1,5	7,65
09	SP-09	3,18	1,77	197,52	15,3	17,79	32,52	2,1	1,2	7,33
10	SP-09	5,00	3,57	190,30	17,3	36,3	14,59	2,8	1,7	7,66
11	SP-17	3,36	1,82	183,00	16,4	17,8	26,95	2,4	1,4	7,49
12	SP-17	2,34	3,09	197,48	14	37,06	14,9	2,7	1,7	7,77
13	SP-20	1,77	1,68	187,76	13,5	27,21	27,97	2,2	1,3	7,59
14	SP-20	4,42	3,03	194,89	14,6	34,64	15,97	2,4	1,5	7,74
15	TP-01	2,74	1,59	187,88	14	31,74	24,27	1,9	1,1	7,56
16	TP-01	1,33	2,23	197,27	14	30,46	22,42	2,4	1,5	7,51
18	TP-04	4,59	4,05	221,39	8	29,33	27,61	2,5	0,7	7,49
19	TP-04	1,64	2,94	174,72	9,48	30,06	16,53	2,17	0,3	7,65
20	TP-05	3,18	1,41	205,08	9,7	33,63	21,94	1,6	0,7	7,56
21	TP-05	4,24	3,57	207,60	8,1	38,08	18,52	1,7	0,6	7,95
22	TP-12	1,33	0,55	153,35	9,8	27,05	15,29	1,2	0,8	7,61
23	TP-12	1,46	1,94	149,24	10,3	28,76	14,12	1,3	0,8	8,06
25	TP-17	1,41	0,77	156,04	8,9	27,33	14,49	1,1	0,7	7,61
26	TP-17	1,45	1,69	150,26	9,6	26,7	17,65	1,1	0,7	8,02
28	TP-20	2,74	1,05	208,74	5,6	26,17	27,34	1,3	0,4	7,51
29	TP-20	3,54	3,15	205,43	6,3	35,06	17,11	1,3	0,5	7,97
31	BTP-04	0,37	0,98	68,44	6,45	12,42	6,56	0,65	0,24	6,95
32	BTP-05	3,81	0,98	182,24	4,72	28,41	15,76	0,7	0,2	7,89

FONTE: SANEPAR, 2002, P 144.

Porém, as análises bacteriológicas das águas de alguns poços tubulares profundos na sede de Almirante Tamandaré-PR (SP-01, SP-07 e SP-09) apresentaram presença de coliformes totais e fecais (TABELA 18).

**TABELA 18:** ANÁLISES BACTERIOLÓGICAS DE ÁGUAS DE POÇOS TUBULARES DA SANEPAR EM ALMIRANTE TAMANDARÉ. AS ANÁLISES FORAM REALIZADAS NOS LABORATÓRIOS DA SANEPAR

POÇO	DATA	COLIFORMES TOTAIS (UFC)	COLIFORMES FECAIS (UFC)	POÇO	DATA	COLIFORMES TOTAIS (UFC)	COLIFORMES FECAIS (UFC)
SP-01	14/02/02	000	000	SP-17	14/02/02	004	004
SP-01	09/01/02	200	200	SP-17	09/01/02	200	200
SP-01	17/12/01	080	016	SP-17	17/12/01	042	013
SP-01	30/08/01	118	061	SP-17	30/08/01	030	017
SP-01	30/07/01	046	014	SP-17	30/07/01	024	011
SP-01	23/07/01	100	022	SP-17	23/07/01	155	028
SP-07	14/02/02	000	000	SP-20	14/02/02	002	002
SP-07	09/01/02	200	200	SP-20	09/01/02	025	006
SP-07	17/12/01	024	016	SP-20	15/12/01	030	011
SP-07	30/08/01	096	073	SP-20	30/08/01	012	007
SP-07	30/07/01	033	032	SP-20	30/07/01	019	009
SP-07	23/07/01	200	068	SP-20	23/07/01	013	003
SP-09	14/02/02	000	000	TP-01	14/02/02	000	000
SP-09	09/01/02	200	200	TP-05	14/02/02	016	016
SP-09	17/12/01	200	014	TP-12	14/02/02	000	000
SP-09	30/08/01	268	240	TP-17	14/02/02	000	000
SP-09	30/07/01	085	066	TP-20	14/02/02	000	000
SP-09	23/07/01	200	200				

OBS: UFC – UNIDADE FORMADORA DE COLÔNIA

FONTE: SANEPAR, 2004, p 145.

Por estarem localizados na sede do município, a água destes poços pode estar refletindo uma contaminação por poluição difusa e/ou pela infiltração de efluentes líquidos domésticos (esgoto) sem tratamento.

Tanto no meio urbano como no meio rural de Almirante Tamandaré é muito comum o uso de fossas para a disposição final dos esgotos domésticos.

Esta situação somada a outras como a criação de animais, presença de cemitérios e despejos clandestinos de resíduos sólidos urbanos (lixo) em áreas de recarga do aquífero e absorção direta de agentes poluidores deve ser rigorosamente evitada.

Segundo Lisboa (1997, p 93), a maior parte das dolinas no karst encontram-se saturadas apenas em épocas de maior precipitação pluviométrica, tornando-se locais convidativos à ocupação. A população em geral desconhece a função estratégica destas para a recarga do aquífero (LIMA, 2004).

Para a preservação do aquífero, além das restrições em termos de ocupação, já vistos no item anterior, necessário se faz uma campanha de conscientização e sensibilização da sociedade no sentido dela reconhecer a fragilidade deste meio e sua

função. Devem ser concentrados esforços inclusive para a definição de normas para as atividades antrópicas e padrões de controle e fiscalização.

A promoção do saneamento básico nas áreas já urbanizadas, com instalação de redes de coleta de esgoto e condução para tratamento, com monitoramento constante para que se evitem vazamentos é primordial. No meio rural, as habitações devem adotar projetos especiais de fossas sépticas, sendo proibida a construção em áreas de poljes e dolinas.

O uso de agroquímicos nas atividades agrícolas deve ser substituído por agricultura orgânica que também deve ser acompanhada e monitorada para que não se aumentem os níveis de nitratos e seu aporte em sub-superfície. As boas práticas de manejo devem ser adotadas em relação aos dejetos dos animais – acondicionamento e tratamento, preferencialmente isolando-os de contato com o solo e corpos d'água.

A manutenção da cobertura vegetal deve ser apoiada, principalmente em áreas de altas declividades e faixas de drenagem evitando-se assim problemas de erosão/escorregamento e o fluxo de sedimentos para os recursos hídricos.

As áreas com matas, nativas ou não, devem ser conservadas mediante incentivos tributários ou a troca de potencial construtivo no mesmo município, possibilidade esta prevista no Estatuto das Cidades. Os proprietários de áreas com cobertura vegetal significativa, a título de preservá-las, poderão, em outra área mais apropriada, aumentar seu coeficiente de ocupação.

Também, a aplicação do Protocolo de Kyoto pode ser incentivado trocando-se a manutenção das florestas pela sua capacidade de arrestar o carbono da atmosfera (seqüestro de carbono) com quem necessita deste recurso para o “armazenamento” dos seus resíduos gasosos. Estudos indicam que uma floresta de bracatinga com 07 (sete) anos de idade pode assimilar 37, 294 ton/ha (HOSOKAWA et. al, 2002, p 6).

As áreas agricultáveis devem ser destinadas prioritariamente para culturas não mecanizáveis – fruticultura, erva-mate, pastagens e silvicultura.

Quanto à exploração da água através de poços, seja pelo Poder Público, seja pela iniciativa privada, deve ser acompanhada pelos estudos geotécnicos da área de influência (no mesmo compartimento estrutural/hidrogeológico), evitando-se níveis arriscados que possam causar danos materiais.

De acordo com Fraga e Guarda (2000, p 6) a exploração hidrogeologicamente sustentável do Aquífero Karst é o de exploração em áreas intercelulares, descartando altas concentrações exploratórias intracélulas.

A área em estudo possui 21 (vinte e uma) células hidrogeológicas que merecem estudos para fins de abastecimento público sob este enfoque.

Adicionalmente, qualquer emissão de alvará e/ou licenciamento para a construção de edificações em terrenos cársticos deve ficar condicionada a prévia sondagem do terreno a ser edificado e emissão de laudo geológico e geotécnico para assim, o Poder Público decidir com segurança pela concessão, ou não, da autorização para construir e, neste caso, quais as precauções técnicas deverão ser adotadas quanto às fundações e sistemas estrutural e construtivo, a fim de assegurar a necessária estabilidade da obra.



## 9 CONCLUSÕES

O presente trabalho buscou, principalmente, estabelecer critérios para a ocupação do solo e uso da água subterrânea na região do Karst da RMC (Formação Capiru), a partir dos seus aspectos geológicos e do meio físico, com o objetivo de auxiliar a sua gestão ambiental.

Inicialmente foi efetuada uma contextualização da região do Karst da RMC quanto aos meios físico, biológico e antrópico.

Posteriormente, escolheu-se a Bacia do Rio Pacatuba como área-alvo, tendo em vista suas características físicas e a diversidade de ocupação.

Ao se mapear e inter-relacionar os seus fatores ambientais – geologia, geomorfologia, materiais inconsolidados, chegou-se à carta de Fragilidade Geo-Ambiental da bacia.

Por si só, a determinação da fragilidade geo-ambiental já é um importante instrumento de gestão, pois qualifica e quantifica áreas que merecem cuidados ambientais.

A Bacia do Rio Pacatuba apresenta 39% do seu território qualificado como de alta a muito alta fragilidade.

A quadrícula C16 é um exemplo do que ocorre em áreas localizadas nestas condições (FIGURAS 25, 26, 27, 28, 29 e 30), pois trata-se de uma posição plana da bacia, com nível piezométrico alto, com sedimentos pouco consolidados e rica em matéria orgânica, cujos terrenos sujeitam-se às bruscas oscilações do nível hidrostático.

A variação hidrostática é o principal agente deflagrador dos problemas de colapsamentos dos terrenos, relacionando-se às variações de pressão, direção e velocidade de fluxo da água no interior do substrato em conjunto com a ação da gravidade.

Tais oscilações podem ser resultantes das variações climáticas sazonais e/ou operações de bombeamento em poços tubulares profundos, ou ainda, à diminuição dos

volumes de recarga em função da impermeabilização da superfície dos terrenos pela construção de imóveis e pavimentação de ruas, alterando o regime hídrico local.

O trabalho também avaliou a Vulnerabilidade dos Aquíferos Subterrâneos presentes na bacia, sendo que cerca de 60% é considerado vulnerável ou muito vulnerável.

O cruzamento das informações referentes à fragilidade geo-ambiental com as da vulnerabilidade acabou por condicionar os critérios propostos por este trabalho para a ocupação do solo e uso da água na área-alvo os quais possuem um viés preservacionista do meio ambiente.

A partir dos critérios, foi possível construir um Zoneamento para a Ocupação do Solo e Uso do Aquífero Subterrâneo, que, se adotado, pode vir a ser uma ação imediata visando o ordenamento territorial local e a solução ou minimização dos conflitos já instalados, cuja base, como não poderia deixar de ser, é a informação geológica.

Recomenda-se aplicar este modelo para as demais bacias hidrográficas da Região do Karst da Região Metropolitana de Curitiba - RMC representando um significativo avanço na condução do processo do planejamento territorial, pois o mesmo permite análises e proposições expeditas enquanto não se têm profundos conhecimentos técnico-científicos sobre a hidrogeologia e a geotecnia, bem como dá suporte aos seus mecanismos legais e institucionais de gestão.

Além disto, é de fácil entendimento por profissionais de outras áreas o que facilita o monitoramento e o acompanhamento do ordenamento territorial e uso da água, mesmo por aqueles que não possuem formação na área das geociências.

Os resultados obtidos também confirmam que o crescimento da RMC deve ser direcionado para a sua porção sul, pois é evidente a inaptidão da região do Karst para suportar grandes adensamentos populacionais e atividades humanas variadas, assim como as suas porções leste e oeste encontram-se oneradas pela presença de bacias hidrográficas consideradas importantes mananciais superficiais (atuais e futuros) – Sistema Alto Iguaçu, Passaúna, Verde, Açungui, etc.

O estudo aqui apresentado também deve ser entendido como elemento a ser incorporado à Política Estadual de Recursos Hídricos, conforme preconiza a Lei

Estadual nº 12.726/99 que a institui, em especial relativa ao aproveitamento do Aquífero Karst para uso público e/ou privado. Deve ser entendido da mesma forma diante da Lei Estadual nº 12.248/98 – que criou o Sistema Integrado de Gestão e Proteção dos Mananciais da RMC.

Em ambos os casos servem de documento básico para a discussão e formulação dos planos de desenvolvimento sustentado das Bacias Hidrográficas do Alto Iguaçu e Alto Ribeira, previstos nos referidos diplomas legais.

Finalmente é preciso entender que, apesar da carga de subjetividade nas pontuações atribuídas aos fatores ambientais que embasam o presente trabalho, a mesma se apóia em dados primários gerados sem qualquer pré-disposição pessoal.

*“A academia tem que manter um núcleo que deve ser um diamante, porém, sem perder o pragmatismo de seus trabalhos” (BIGARELLA, J.J., em 10/09/05).*

## 10 REFERÊNCIAS

ANDREOLI, C.V., DALARMI, O., LARA, A.I., ANDREOLI, F.N. Limites ao Desenvolvimento da Região Metropolitana de Curitiba, impostos pela escassez de água. Revista Técnica SANEPAR – SANARE, Curitiba. 2000.

ASSAD, F., JORDAN, H. Karst terranes and environmental aspects. Environmental Geology, v. 23, 1994.

BARROS, F.P.; MONTICELLI, J.J. Aspectos legais. In: Geologia de Engenharia. São Paulo: ABGE, 1998.

BECK, S.F. Sinkhole Terminology. In: Sinkholes: their geology, engineering and environmental impact. Rotterdam: A.A. Balkema, 1984. (Proceedings of the 1th Muldisciplinary Conference on Sinkholes, Orlando).

BIGARELLA, J.J.; LEPREVOST, A.; BOLSANELLO, A. Rochas do Brasil. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1985.

BIGARELLA, J.J.; BECKER, R.D; SANTOS, G.F.; PASSOS, E.; SUGUIO, K. Estrutura e origem das paisagens tropicais e subtropicais. Florianópolis: UFSC, v1, 1994.

BONACIM, E. A. Dinâmica do sistema hidrogeológico cárstico na área de tranqueira – Região Metropolitana de Curitiba. Dissertação (mestrado em Geologia Ambiental) – Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 1996.

BRASIL. CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº 20 de 18 de junho de 1986. Estabelece a Classificação das águas doces, salobras e salinas segundo seu uso preponderante.. Brasília: DOU, 18 jun. 1986.

BUCHMANN FILHO, A.C; DAVID, C.A.S. Acompanhamento dos serviços executados pela SANEPAR no período de 04/05 a 13/09/2000 no município de Colombo. Curitiba, 2000.

CETESB. Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. Água subterrânea e Poços tubulares. 3 ed. rev. São Paulo: CETESB, 1978. Tradução da primeira edição do original norte-americano publicado por Johnson Division, UOP, Inc., Saint Paul, Minnesota.

CHIAVENATO, I. Os passos gradativos da teoria da administração. In: VERGARA, S.C. Dinâmica das organizações modernas. Curitiba: FGV-ISAE, 1992.

CHRISTOFOLETTI, A. Geomorfologia. São Paulo: Edgard Blücher, 2 ed. 1980.

COOB, J., CURRENS, J. Karst: the stealthy hazard. Disponível em: (<http://www.geotimes.org/may01/feature2.html>) Acesso em 31 ago. 2005.

COELHO, G. As leis e organização do espaço metropolitano. In: Metrópolis Revista, n 2, 1999.

COMEC. Coordenação da Região Metropolitana de Curitiba. Karst Colombo. Curitiba, 2000.

COMEC. Coordenação da Região Metropolitana de Curitiba. Plano de Zoneamento do Uso e Ocupação do Solo da Região do Karst na Região Metropolitana de Curitiba. Curitiba. 2002.

CVIJIC, J. Dolines. In: SWEETING, M.M. Karst Geomorphology. [s.e.]: Hutchinson Ross, 1983. Benchmark Papers in Geology/59.

FEITOSA, A. C. F. FILHO, J. M. Hidrogeologia. conceitos e aplicações. 2 ed. Fortaleza: CPRM, 2000.

FIGUEIREDO, S.V.A. Conflitos relativos ao uso da água. In: SILVA, D.D.; PRUSKI, F.F. Recursos hídricos e desenvolvimento sustentável da agricultura. Brasília: MMA; SRH; ABEAS. 1997.

FIORI, A.P. Tectônica e estratigrafia do Grupo Açungui a norte de Curitiba. Tese (Livre-Docência). Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo. São Paulo, 1990.

FIORI, A.P.; CARMIGNANI, L. Fundamentos de mecânica dos solos e das rochas – aplicações na estabilidade de taludes. Curitiba: [s.n], 2001.

FOSTER, Método GOD. In: monitoramento e conservação de aquíferos: Módulo 5 – Vulnerabilidade métodos de avaliação. Curitiba, 2004.

FOSTER, S.D.S.; VENTURA, M.; HIRATA, R.C. Poluição das águas subterrâneas: um documento executivo da situação da América Latina e Caribe com relação ao abastecimento de água potável. São Paulo: Instituto Geológico, 1993. (Série Manuais)

FOSTER, S.D.S.; HIRATA, R.C.; ROCHA, G.A. Riscos de poluição de águas subterrâneas: uma proposta metodológica de avaliação regional. In: 5º CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS. Anais... São Paulo: ABAS, 1983.

FRAGA, C.; GUARDA, M.J. Características hidrogeológica e geoquímica do sistema aquífero karst paranaense na região de Colombo-Fervida. Curitiba: [s.n], 2000.

FRITSZONS, E.; RIZZI, N.; BITTENCOURT, A.V.L.; MANTOVANI, L. E. Estudo de impacto da contaminação por nitrogênio numa bacia hidrográfica cárstica. Boletim Paranaense de Geociências, Curitiba, n.49, 2001.

HEATH, R.C. Hidrologia básica de água subterrânea. United States Geological Survey Water Supply Paper 2220. 1983.

HOSOKAWA, R.T., ROCHADELLI, R., KLOCK, U., REICHER, F. YAMAMOTO, H. Florestamento e reflorestamento: estoques dinâmicos, seguros e eficientes de carbono. Nagoya University Forest Science, v. 21, 2002.

INFANTI J.R.; FORNASARI FILHO, L. Processos de Dinâmica Superficial. In: Geologia de Engenharia. São Paulo: ABGE, 1998.

JACK, J. Environmental Problems in Karst Lands. Disponível em: (<http://cwx.prenhall.com/bookbind/pubbooks/nebel2/medialib/update13.html>) Acesso em: 31 ago. 2005.

LLADÓ, N.L. Fundamentos de hidrogeologia cárstica (introducción a la geoespeleologia) Madrid: Blume, 1970.

LIMA, M. C. A fragilidade geo-ambiental da bacia do Rio Pacatuba/Almirante Tamandaré. Monografia (Especialização em Análise Ambiental). Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2004.

LIMA, M.C.; FARIAS, G.L. Coletânea de Legislação Ambiental – Federal e Estadual. Curitiba: [s.n.], 1990.

LISBOA, A.A., 1997. Proposta metodológica para avaliação hidrogeológica do aquífero cárstico, compartimento de São Miguel – Almirante Tamandaré. Dissertação (Mestrado em Geologia Ambiental), Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 1997.

KARMANN, I.; FERRARI, J.A. Carste e cavernas do Parque Estadual Turístico do Alto Ribeira (PETAR), sul do Estado de São Paulo. Sítios Geológicos e Paleontológicos do Brasil, 043, 2000. Disponível em (<http://www.unb.br/ig/sigep/sitio043/sitio043.htm>.) Acesso em: 07 maio 2004.

LOBATO, F. Lei Estadual nº 12.726/99 e o Sistema Estadual de Gerenciamento de Recursos Hídricos. Revista Metrópolis, n. 2, 1999.

MAACK, R. Geografia do Estado do Paraná. Curitiba: J. Olympio, 1968.

\_\_\_\_\_. Geografia do Estado do Paraná. Curitiba: J. Olympio, 1981.

METRÓPOLIS em Revista, Curitiba, n.1, 1999.

NAKAZAWA, V.A.; PRANDINI, F.L.; DINIZ, N.C. Subsidências e colapsos do solo em áreas urbanas. In: CURSO de Geologia Aplicada ao Meio Ambiente / AGAMA-DIGEO. São Paulo: IPT, 1995.

NASCIMENTO, P.S.R, CARMONA, S.L, BAPTISTA, E.I.B, DE ANGELIS, C.F. Carta de susceptibilidade a riscos geológicos no bairro Pocinho-Ouro Preto/MG. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA, 7, 1997, Curitiba. Anais...

NOGUEIRA, N.F., LISBOA, A.A., ROSA, E.F.F. Estudos preliminares sobre tendências de fluxo subterrâneo da Bacia Hidrográfica do Alto Iguaçu – Curitiba-Pr. Curitiba: [s.n.], 2000.

OLIVEIRA, A.M.S, BRITO, S.N.A. Geologia de Engenharia. São Paulo: ABGE, 1998.

OLIVEIRA, L.M. A gestão de riscos geológicos urbanos em áreas de carste. Monografia (Especialização em Gestão Técnica do Meio Ambiente) – GTU/PUC. Curitiba, 1997.

\_\_\_\_\_. Guia de Prevenção de Acidentes Geológicos Urbanos. Curitiba: Minerais do Paraná. 1998.

OREA, D.G. Evaluación del impacto ambiental de proyectos agrários. Madrid: Ministério de Agricultura Pesca y Alimentación, 1986 (Estudios monográficos 6).

PARANÁ. Lei Estadual n. 12.248, de 31 de julho de 1998 – Cria o sistema integrado de gestão dos mananciais da RMC. Diário Oficial do Estado. Curitiba, PR. 31 julho 1998.

\_\_\_\_\_. Lei Estadual n. 12.726 de 26 de novembro de 1999. – Institui a política estadual de recursos hídricos. Diário Oficial do Estado. Curitiba, PR. 26 nov 1999.

\_\_\_\_\_. Decreto Estadual n. 2.964 de 19 de setembro de 1980. – Declara como áreas de mananciais as áreas das bacias dos rios que compõem os mananciais e recursos hídricos de interesse da Região Metropolitana de Curitiba. Diário Oficial do Estado. Curitiba, PR. 19 set 1980.

PILÓ, L.B. Geomorfología cársica: Revisão de Literatura Revista Brasileira de Geomorfologia, v. 1, n. 1, MG, 2000.

PLANO DE DESENVOLVIMENTO INTEGRADO/RMC – PDI/RMC. Documento Síntese para Discussão. Curitiba: COMEC, 2001.

POLIDORO, G.F.B. e LIMA, M.C. Análise susceptibilidade à erosão – Bacia do Passaúna – Macrozoneamento APA do Passaúna. Curitiba: COMEC, 1988.

\_\_\_\_\_. Diagnóstico ambiental das Fazendas Engenho e Salto Morato no município de Guaraqueçaba, Pr. – Plano de Manejo. Guaraqueçaba: Fundação O Boticário, 1994.

\_\_\_\_\_. Diagnóstico e análise ambiental do meio físico da Reserva Natural Salto Morato – 2ª Etapa. Plano de Manejo da RPPN Salto Morato no município de Guaraqueçaba. Guaraqueçaba: Fundação O Boticário, 2002.

ROSA FILHO, E.F., HINDI, E.C, XAVIER, J.M., LUCENA, L.R.F, GUÉÈQUIZ, A.R. Áreas de Vulnerabilidade à Contaminação de Aquífero Cárstico causada pela exploração de poços tubulares\_(estudo de caso de Almirante Tamandaré-Pr, Brasil). Revista Latino-Americana de Hidrogeologia, n.2, p.63-69, 2002.

SANEPAR. Companhia de Saneamento do Paraná. Estudo de impacto ambiental – Almirante Tamandaré. Curitiba, 2002.

SANTOS, L.M.F. Estudo da infiltrabilidade e da disponibilidade de água dos principais solos do Karst – Paraná. Curitiba: EMATER. 1998.

SCHNEIDER, M. Estudo da ocupação e uso do solo em duas áreas-células sobre o Aquífero Karst no Município de Colombo (PR) Monografia (Graduação em Geografia), Setor de Ciências Exatas de Tecnologias, Universidade Tuiuti do Paraná. Curitiba, 2001.

SOARES, P.C, Sequências tecto-sedimentares e tectônica deformadora no centro-leste do escudo paranaense. In: SIMPÓSIO SUL BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 1987, Anais ...Curitiba: SBG, 1987.

SOARES, P.C, SOARES, A.P., FIORI, A.P. Raciocínio probabilístico aplicado à susceptibilidade de escorregamentos: um estudo de caso em Campo Largo, Paraná, Brasil. Boletim Paranaense de Geociências, n 50, p. 61-76. Curitiba, 2002.

SUDERHSA. Superintendência de Recursos Hídricos e Meio Ambiente. Dados internos. Curitiba. 2004.

TEIXEIRA, W.; TOLEDO, M. C..M.; FAIRCHILD, T.M; TAIOLI, F. Decifrando a terra. São Paulo: Oficina de Textos. 2001.